La fabbrica dei superbatteri resistenti agli antibiotici

Febbraio 2017 € 4,50

Le Scienze

www.lescienze.it
edizione italiana di Scientific American

5 cose vere al tempo delle bufale

Dall'evoluzione all'omeopatia, dal global warming agli UFO ai vaccini, un piccolo inventario di fatti sostenuti da solide prove

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA RIVISTA MENSILE - NUMERO 582

Neuroscienze

I meccanismi cerebrali per distinguere gli esseri animati

Astronomia

Le collisioni caotiche da cui ebbe origine il sistema solare

IN COPERTINA

Una vittima dell'era della post-verità potrebbe essere la scienza, vista la diffusione pervasiva di bufale su argomenti scientifici; ecco perché vi proponiamo cinque verità scientifiche che continuano a essere contestate. (Vertigo3d/iStock)

febbraio 2017 numero 582

Bodler/iStockphoto

15

16

91

Rubriche

SCIENZA NEWS

Nicolas Cegalerba/Getty Images (*in alto*); Gloszilla /iStock (*al centro*); baibaz/iStock (*in basso*)

di Marco Cattaneo

L'edificio della scienza

Rischi e opportunità nell'era della post-verità

Dicono che viviamo nell'era della *post-truth society*, la società della post-verità. Nella definizione degli Oxford Dictionaries – che l'hanno eletta parola dell'anno per il 2016 – riportata dall'Accademia della Crusca, «relativo a, o che denota, circostanze nelle quali fatti obiettivi sono meno influenti nell'orientare la pubblica opinione che gli appelli all'emotività e le convinzioni personali».

Dei pregiudizi cognitivi che ci portano a cercare, su Internet e soprattutto nei social network, non tanto la verità dei fatti quanto le conferme alle nostre convinzioni, abbiamo parlato proprio un anno fa, con l'articolo di Walter Quattrociocchi *L'era della (dis)informazione*. In cui si sottolineava, tra l'altro, come la polarizzazione delle posizioni rispetto a particolari temi dia origine a gruppi solidali che tendono a rinforzarsi, ignorando qualsiasi prova fattuale venga portata a sostegno della tesi contraria.

Tra i principali argomenti in cui si registra una preoccupante fioritura di notizie infondate ce ne sono parecchi che hanno a che vedere con la scienza. Uno su tutti, l'ormai ventennale questione della relazione tra vaccini e autismo.

Sostenuta da un unico articolo scientifico pubblicato nel 1998 su «The Lancet» e rivelatosi poi una frode, la bufala secondo cui il vaccino trivalente causerebbe l'autismo è arrivata fino alla Casa Bianca. Dopo aver sostenuto la relazione tra vaccini e autismo in un tweet del 2014, prima di insediarsi alla presidenza degli Stati Uniti Donald Trump avrebbe infatti incaricato Robert Kennedy Jr., un attivista antivaccinista, di presiedere una commissione in materia di «sicurezza dei vaccini e integrità scientifica» (il condizionale è d'obbligo perché la notizia, riportata dai media, non è stata confermata dall'entourage di Trump). Scatenando le ovvie reazioni della comunità scientifica e medica del paese.

Se i vaccini sono uno dei casi più rumorosi anche dalle nostre parti, non è difficile trovare in rete innumerevoli altri esempi di informazioni false o comunque manipolate a proposito di argomenti di natura scientifica.

La scienza non dà certezze assolute. Interroga la realtà e la interpreta. Ma nella scienza un'opinione non vale l'altra. Quello che conta è la mole di evidenze raccolta a favore o contro determinate ipotesi. E se è vero che coloro che si fanno catturare dal fascino delle bufale sono refrattari alla prova dei fatti, è anche giusto ogni tanto precisare quali e quante prove ci sono a sostegno delle conoscenze acquisite. Perché è sulla base di quelle prove che dovremmo fondare le nostre azioni e le nostre decisioni individuali e collettive, come nel caso dei vaccini. Ed è sulla base di quelle prove – ci piaccia o meno quello che dimostrano – che possiamo formarci un'opinione informata e una base di conoscenza condivisa.

PeopleImages/iStock

Ciò non significa che la scienza sia rigida e conservatrice. Tutt'altro. Significa che per confutare ipotesi solidamente fondate occorrono prove; per dirla con Carl Sagan, «affermazioni straordinarie richiedono prove straordinarie». È così che abbiamo costruito quel magnifico edificio che chiamiamo «scienza».

Soluzioni innovative dalle piante

A marzo allegato a richiesta con «Le Scienze» il libro *Erba volant,* di Renato Bruni

L'umanità è affamata di innovazione. È una delle conseguenze del nostro impatto di specie sull'ambiente in cui viviamo e che modifichiamo senza sosta da tempo lasciando tracce ben riconoscibili, al punto da segnare l'inizio di una nuova era geologica che porta il nostro nome: l'Antropocene. Per risolvere le sfide poste da questa nuova era, un aiuto insospettabile potrebbe giungere da quella natura che proprio nell'Antropocene rischia di essere travolta e che invece è sempre più fonte di ispirazione per scienziati e innovatori in generale. Lo dimostra il crescente successo della biomimetica, una disciplina recente che volge lo sguardo alle soluzioni escogitate dalla natura in quasi quattro miliardi di evoluzione sulla Terra per usarle come basi di idee innovative utili agli esseri umani e allo stesso tempo rispettose dell'ambiente.

A ben vedere non è proprio una novità, considerato che perlomeno in ambito farmaceutico l'ispirazione alla natura è vecchia di secoli, se non di millenni, grazie al riconoscimento e allo sfruttamento del potenziale terapeutico di molecole vegetali. In effetti le piante sono protagoniste della biomimetica, ma potrebbero esserlo ancora di più perché il loro catalogo di soluzioni è smisurato e sorprendente, come illustra Renato Bruni in *Erba volant*, libro in edicola con «Le Scienze» di marzo e in vendita nelle librerie per Codice Edizioni.

L'autore è un esperto del settore. Insegna botanica e biologia farmaceutica al Dipartimento di scienze degli alimenti dell'Università di Parma e in laboratorio si occupa dei metaboliti secondari delle piante e dei loro impieghi; in più è autore dell'omonimo blog sullo studio delle piante e dei loro effetti. Nel libro Bruni immagina di lavorare in un'azienda di consulenza particolare, da cui è assunto affinché trovi soluzioni innovative e inedite a problemi posti di volta in volta dai clienti, e particolare è anche una caratteristica del protagonista: è in grado di parlare con le piante. Così in nove capitoli si dipana un mondo ignoto ai più, in cui conoscere membri del regno vegetale che si propongono come potenziali colonizzatori di esopianeti, con piante in grado di ridurre l'inquinamento degli ambienti domestici e di lavoro o di fornire soluzioni innovative in ambito militare (ma se pensate ad armi biologiche siete fuori strada) o del marketing, capaci di suggerire approcci per la fotosintesi artificiale.

Il motivo di tanta versatilità va cercato nella storia evolutiva delle piante. Per esempio, la colonizzazione della terraferma fu possibile solo grazie alla sottile modulazione di nuove strategie, spiega Bruni, che permisero alle piante di cavarsela sia nelle aree più fertili sia in quelle più inospitali della Terra dei primordi, caratterizzate da scarsità di acqua, di illuminazione, da temperature non adatte alle nuove arrivate. Quanto ai conflitti che ogni essere vivente si trova ad affrontare nel corso dell'esistenza, le piante non hanno muscoli, non hanno voce eppure hanno affrontato la competizione tra propri membri e con altri organismi, ed è impossibile vincere le guerre senza coordinazione e comunicazione delle forze in campo. Tutto questo è stato ottenuto sfruttando solo aria, acqua e qualche sale minerale, instaurando sistemi chiusi di riciclo da fare invidia ai massimi esperti umani del settore.

Alla fine del libro il vostro sguardo sulle piante sarà cambiato. Non più semplici soggetti per fotogallerie dall'indiscutibile valore estetico o per domande da quiz televisivi, ma depositari di soluzioni già impostate ai problemi dei nostri tempi.

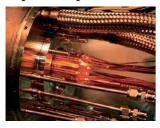
Chepko/iStock

a cura di Giovanni Spataro

Un mare di plastica

Nel Mediterraneo le concentrazioni di questo materiale sono tra le più alte al mondo

L'impatto nocivo della plastica sugli ecosistemi marini è preoccupante, e sono diversi i progetti che affrontano il problema (si veda *Alla ricerca della plastica scomparsa* in «Le Scienze» n. 560, aprile 2015). Ora uno studio pubblicato su «Scientific Reports» dall'Istituto di scienze marine del Consiglio nazionale delle ricerche, Università di Ancona, l'Università del Salento e la statunitense Algalita Foundation, ha tracciato un quadro del Mediterraneo nel 2013. Frammenti più piccoli di due millimetri, non visibili a occhio nudo, galleggiano quasi ovunque nel Mare Nostrum, e le concentrazioni sono tra le più elevate del globo: 1,25 milioni di frammenti per chilometro quadrato. Il record nel record spetta al tratto di mare tra Toscana e Corsica, con dieci chilogrammi di microplastica per chilometro quadrato. In generale la plastica è più abbondante nel Mediterraneo occidentale rispetto all'Adriatico.

Il primo spettro

Il contenitore. Particolare della trappola usata per gli atomi di antidrogeno al CERN di Ginevra, che ha sfruttato campi magnetici.

Materia e antimateria pari sono, almeno dal punto di vista della spettroscopia. Lo ha dimostrato la collaborazione ALPHA del CERN di Ginevra con la prima misurazione spettroscopica di atomi di antimateria, nello specifico di atomi di antidrogeno composti da un antiprotone (particella con masse uguale a quella del protone ma con carica elettrica negativa) e da un positrone (particella con massa uguale a quella dell'elettrone ma con carica positiva).
Come illustrato su «Nature», i ricercatori hanno intrappolato una manciata di atomi di antidrogeno in modo che non toccassero il materiale della trappola, eventualità che avrebbe portato alla distruzione di antidrogeno e atomi di materia ordinaria entrati in contatto con l'antimateria. Inoltre gli atomi di antidrogeno avevano una bassa temperatura, una condizione questa che finora aveva impedito misurazioni del genere (si veda *Antimateria fredda* in «Le Scienze» n. 564, agosto 2015), cioè la giusta energia cinetica per essere colpiti in modo efficace da fasci laser che portavano gli antiatomi in uno stato eccitato dal punto di vista energetico. Così, gli scienziati hanno misurato la transizione tra i livelli energetici indicati come 1s e 2s dimostrando che la frequenza della luce assorbita durante il processo è uguale a quella rilevata durante la stessa transizione in atomi di idrogeno. Una ulteriore conferma sperimentale delle previsioni del modello standard, il quadro teorico che descrive le particelle elementari e tre delle quattro forze fondamentali della natura.

Geni denisovani

Adatti al freddo. Varianti geniche degli Inuit hanno facilitato l'adattamento di questo gruppo umano all'ambiente polare.

Le popolazioni umane hanno colonizzato quasi ogni angolo della Terra, non di rado insediandosi in ambienti inospitali per una specie di origine africana, adattandosi a condizioni estreme, per esempio temperature assai basse (si veda *Geni umani per ambienti estremi* in «Le Scienze» n. 576, agosto 2016). Il genoma delle popolazioni che ancora oggi vivono in ambienti estremi è di interesse per la scienza, anche applicata, e spesso le scoperte sono eclatanti, come quella pubblicata su «Molecular Biology and Evolution» da Fernando Racimo del New York Genome Center e colleghi.
I ricercatori sono partiti da due geni, *TBX15* e *WARS2*, che negli Inuit della Groenlandia sono responsabili dell'adattamento a freddo e a una dieta composta principalmente di pesce. Racimo e colleghi hanno confrontato dati genetici di quasi 200 Inuit groenlandesi con quelli di persone di altre parti del mondo, e di uomini di Neanderthal e di denisovani, due specie umane estinte. In questo modo gli autori hanno scoperto che la variante *TBX15*/*WARS2* degli Inuit potrebbe derivare proprio da ominidi estinti, probabilmente imparentati con i denisovani, specie ancora misteriosa per i paleoantropologi.

Segni di Alzheimer

In un mondo sempre più anziano, l'incidenza dell'Alzheimer è destinata ad aumentare e con essa la richiesta di terapie. A questo scopo, un risultato importante sarebbe la scoperta di marcatori che rilevassero l'insorgenza del morbo prima della comparsa dei sintomi (si veda *Prevenire le ombre dell'Alzheimer* in «Le Scienze» n. 504, agosto 2010).
Un candidato è stato individuato da Marc Suárez-Calvet Ludwig-Maximilians-Universität München e colleghi con uno studio pubblicato su «Science Translational Medicine», che ha riguardato 127 pazienti con una forma ereditaria di Alzheimer e 91 fratelli e sorelle in salute. Nei soggetti con Alzheimer è stato osservato un collegamento tra malattia e alti livelli della proteina TREM2 nel liquido cefalorachidiano cinque anni prima della comparsa dei sintomi e cinque anni dopo l'insorgenza della malattia.

Cortesia CERN (*trappola antimateria*); lindsay_imagery/iStockphoto (*plastica in mare*); IPGGutenbergUKLtd/iStockphoto (*donna Inuit*)

di Marco Motta

La chimica al computer

Marco De Vivo ha ricevuto un prestigioso premio dell'American Chemical Society per le sue ricerche sul DNA effettuate con calcolatori superpotenti

Immaginate di sedervi davanti a uno schermo e assistere a una visione davvero speciale: la dinamica di assemblaggio della doppia elica del DNA, come un film della vita a livello molecolare che scorre davanti ai vostri occhi. È un po' lo spettacolo di cui gode Marco De Vivo, insieme ai suoi ricercatori all'Istituto italiano di tecnologia di Genova, grazie alle capacità di calcolo dei supercomputer che stanno spingendo avanti la ricerca di nuove terapie farmacologiche. Un risultato che gli è valso anche il premio OpenEye Outstanding Junior Faculty Award della American Chemical Society, che gli verrà consegnato alla conferenza annuale della ACS in programma ad aprile a San Francisco.

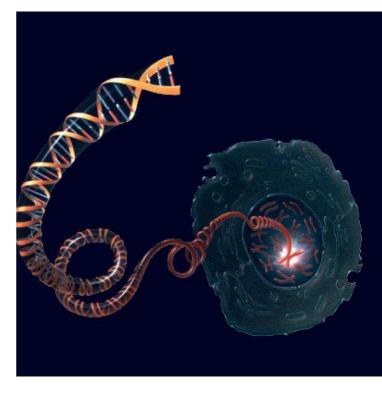
In una ricerca pubblicata la scorsa estate avete descritto la dinamica del meccanismo che regola questo assemblaggio dei mattoni della vita. Di che cosa si tratta?

È il risultato di una serie di studi su come gli acidi nucleici, DNA e RNA, vengono regolati dagli enzimi. Grazie alle simulazioni al computer abbiamo «visto» come funziona l'allungamento del filamento di materiale genetico, cioè la polimerizzazione, la replicazione e l'assemblaggio dei nucleotidi, i mattoni alla base della vita. Abbiamo denominato questo meccanismo SAM, da Self-Activated Mechanism, perché è una reazione che si autosostiene, in una sorta di movimento perpetuo. A oggi è la migliore spiegazione che abbiamo di molti dati sperimentali raccolti finora, ma naturalmente continuerà a essere sottoposta ad altre verifiche in futuro.

Un ingranaggio cruciale della macchina della vita, che in alcuni casi può incepparsi.

Poiché questi meccanismi di replicazione sono i protagonisti anche di processi degenerativi come il cancro, le cellule tumorali sono la più immediata area di applicazione possibile di queste conoscenze. Comprendere un meccanismo essenziale come SAM ci dà la possibilità di capire dove potremmo infilare il bastone per bloccare la macchina e inibire la replicazione incontrollata delle cellule. Si tratta di conoscenze fondamentali anche nell'ottica dello sviluppo di terapie personalizzate, per capire il modo in cui il genoma di ogni individuo risponde in maniera diversa all'azione di un farmaco.

Quali vantaggi dà l'uso della chimica computazionale rispetto alla chimica tradizionale fatta in laboratorio?

Con gli esperimenti di laboratorio possiamo ottenere solo prove indirette, oppure nei casi più fortunati, usando per esempio tecniche di cristallografia, immagini statiche del processo in diversi punti. Fare chimica computazionale significa invece disporre di una potente lente di ingrandimento che permette di seguire in

Molecola vitale. Il DNA forma i cromosomi deputati alla trasmissione dei caratteri genetici in tutti gli organismi. A fronte, struttura del DNA al computer, e De Vivo e il suo gruppo di ricerca.

Media for Medical/UIG via Getty Images

modo dettagliato e nel corso del tempo la dinamica di un processo chimico. Con ai supercomputer arriviamo a simulare processi che avvengono alle dimensioni dei nanometri, per durate dai picosecondi (un millesimo di miliardesimo di secondo) ai microsecondi.

Un sistema tipico oggetto dei nostri studi è un frammento di DNA, equivalente a 200.000-300.000 atomi, di cui vediamo lo sviluppo per qualche decina di microsecondi, in qualche caso fino al millisecondo, usando la fisica classica. Oppure possiamo applicare anche la fisica quantistica: in quest'ultimo caso serve però una maggiore potenza di calcolo per studiare sistemi più ridotti, poche centinaia di atomi simulati per qualche centinaio di picosecondi. Per la ricerca che ci ha portato a descrivere SAM è stato usato un supercomputer in Germania, ma abbiamo attiva anche una collaborazione con il CINECA a Bologna, dove si sta mettendo a punto il nuovo supercomputer Marconi, che sarà uno tra i più potenti al mondo.

Lavorare con modelli virtuali al computer invece che al banco-

ne del laboratorio ha cambiato anche il modo di pensare di un chimico?

Il lavoro puramente sperimentale si basava più sull'esperienza o sull'intuito del chimico. Oggi con la chimica computazionale disegniamo le molecole come un architetto progetta una casa, dalle fondamenta al tetto, testandone prima al computer in modo approfondito il comportamento, e solo successivamente arrivando a sintetizzarle in laboratorio. È un approccio che sta rivoluzionando la scoperta dei nuovi farmaci: se prima si procedeva per tentativi in laboratorio, oggi tutte le grandi aziende farmaceutiche hanno un gruppo di chimica computazionale che fa lo *screening* delle molecole per selezionare quelle più promettenti. Questo implica che riusciremo a ridurre significativamente tempi e costi dello sviluppo di nuovi farmaci, per i quali finora servivano in media 10-12 anni e investimenti per circa 1,5 miliardi di euro. In un progetto del mio gruppo finanziato da AIRC abbiamo selezionato con il *virtual screening* alcuni composti che stiamo brevettando, perché capaci di bloccare la funzione di una proteina coinvolta nello sviluppo del melanoma.

Le simulazioni al computer, anche se supportate da potenze di calcolo sempre crescenti, rimangono però modelli semplificati della realtà. Quali sono le implicazioni di questo limite?

Le variabili nei sistemi reali sono moltissime e complesse. Per questo, pensare di simulare quello che accade all'interno di una cellula è più complicato che progettare un aereo, ma ci arriveremo. Dovremo essere capaci di predire il comportamento di sistemi più grandi di un piccolo frammento di DNA come riusciamo a fare oggi, e simulati per un tempo più lungo. La chimica computazionale è cresciuta molto negli ultimi vent'anni. Nel 2000 mi è servito un intero anno di lavoro al computer per produrre le simulazioni al centro della mia tesi, mentre oggi lo stesso risultato lo potrei ottenere in qualche giorno. Ci tengo comunque a sottolineare che il lavoro del chimico computazionale non può prescindere da una stretta sinergia con i chimici di laboratorio.

Lei è il primo ricercatore che lavora in un'istituzione italiana a ricevere questo premio della ACS. È positivo dunque il bilancio sulla sua scelta di tornare a far ricerca in Italia dopo l'esperienza negli Stati Uniti?

Per me gli anni trascorsi all'estero sono stati essenziali, acquisisci il *know-how* e il network di relazioni che saranno decisivi per la prosecuzione della tua carriera scientifica. L'Istituto italiano di tecnologia è un isola felice nel nostro paese, perché è un ambiente estremamente competitivo a livello internazionale, anche con i laboratori più avanzati del mio settore negli Stati Uniti.

CHI È

Marco De Vivo, originario di Rimini, dirige il laboratorio di Molecular Modeling and Drug Discovery all'Istituto italiano di tecnologia, dove è arrivato nel 2009, dopo oltre cinque anni di ricerca negli Stati Uniti.

Laureato in chimica e dottorato in chimica farmaceutica all'Università di Bologna, De Vivo ha lavorato due anni alla Scuola internazionale superiore di studi avanzati (SISSA) di Trieste e sei mesi al Politecnico federale (ETH) di Zurigo, per poi raggiungere nel 2004 il laboratorio di Michael L. Klein all'Università della Pennsylvania a Philadelphia.

Nel 2007 prosegue l'attività di ricerca alla Rib-X Pharmaceuticals azienda spin-off della Yale University, che ha tra i fondatori il premio Nobel per la chimica Thomas Steitz e William Jorgensen.

Dal 2015 De Vivo è anche Research Associate dell'Istituto di biomedicina computazionale al Forschungszentrum di Jülich, in Germania.

Cortesia De Vivo (tutte le immagini in questa pagina, 3)

di Letizia Gabaglio

Alla salute dell'ambiente marino

La start-up EcoTechSystems monitora lo stato dei mari con un approccio che affianca test classici e altri dedicati alla biodiversità di acque e sedimenti

Sistemi di monitoraggio sviluppati a partire da dati scientifici per valutare lo stato di salute dell'ambiente marino. Sono quelli che permettono di capire quale sia il grado di inquinamento di uno specchio d'acqua, e così trovare soluzioni per preservare la sua biodiversità. Per farlo servono ricercatori, laboratori e aziende pronte a fare della tutela ambientale un loro cavallo di battaglia. Dal 2003 questo mix virtuoso ha preso vita ad Ancona, dove è nata EcoTechSystems, uno *spin-off* dell'Università Politecnica delle Marche. A fondarlo 11 soci fra ricercatori, assegnisti di ricerca e dottorandi, tutti appartenenti al Dipartimento di scienze del mare dell'ateneo marchigiano, tanto appassionati di scienza e di ricerca da trovare un modo per continuare a condurre i loro studi fuori dal sistema della ricerca universitaria, dove la precarietà non consente di fare programmi a lungo termine.

«L'idea che ci ha guidato fin dall'inizio è stata trasferire le nostre competenze maturate nell'ambito della biologia marina al servizio di aziende private per fornire dei servizi fuori dall'ordinario», racconta Monica Armeni, amministratore delegato dell'azienda. Una decisione figlia anche della collocazione geografica del gruppo di ricercatori: sulla costa adriatica si affastellano la maggior parte delle piattaforme petrolifere italiane e il problema dell'inquinamento è particolarmente sentito.

«Quando ci siamo proposti sul mercato abbiamo mutuato dai nostri progetti di ricerca l'obiettivo di monitoraggi a lungo termine, che potessero dare informazioni solide sullo stato di salute dell'area in cui le imprese operavano», aggiunge Armeni. «Oltre ai classici test chimici abbiamo proposto un approccio ecologico che include anche l'analisi della biodiversità per identificare possibili alterazioni non solo nelle matrici ambientali, ma anche nelle popolazioni biologiche che caratterizzano l'area di studio. Con questo approccio abbiamo un quadro più ampio dei possibili mutamenti in corso e delle potenziali conseguenze a breve e lungo termine».

Una nuova visione

In altre parole, in un momento in cui la sensibilità ambientale delle aziende cominciava a farsi strada, ma non era né comune né assicurata da leggi restrittive, EcoTechSystems ha suggerito due nuovi modi di guardare al monitoraggio ambientale: allungando il lasso temporale di studio e puntando l'attenzione sugli organismi che popolano acque e sedimenti. «Agli inizi degli anni duemila, abbiamo proposto a una grande aziende che estraggono petrolio e gas di effettuare questo tipo di analisi e ci hanno creduto. Oggi tutti lo fanno, perché la scienza ha dato valore a queste variabili ed è ormai evidente che è la componente biologica a fare la differenza», commenta Armeni. Con il passare degli anni la compagine societaria si è assottigliata e oggi a portare avanti l'azienda sono in due, Monica Armeni e Mirko Magagnini, direttore tecnico.

LA SCHEDA

EchoTechSystem

Fatturato
500.000 euro

Investimenti in ricerca
circa il 7% del fatturato

Dipendenti/collaboratori
5 di cui 2 impiegati in R&S

Brevetti rilasciati
0

«Fare l'imprenditore non è semplice e comporta un rischio a cui non sempre è facile fare fronte, soprattutto per le piccole aziende. La crisi ha avuto un forte impatto sulla nostra realtà, perché le grandi imprese hanno tagliato sul fronte della tutela ambientale, ma il nostro obiettivo rimane invariato: diventare un'azienda grande, in grado di accogliere ricercatori e neo laureati e dare loro l'opportunità di fare un percorso professionale che in Italia possiamo offrire davvero in pochi. È vero che la nostra è una piccola realtà, ma è praticamente unica nel suo genere», dice con convinzione Armeni.

Alberto Pizzoli/AFP/Getty Images

Test sul campo. Addetti di EchoTechSystem mentre effettuano analisi sviluppate dall'azienda; una piattaforma di ENI per l'estrazione del gas al largo delle coste adriatiche, vicino a Ravenna.

EcoTechSystems oggi non lavora solo con aziende del comparto *oil and gas*: l'approccio multidisciplinare dei ricercatori marchigiani è impiegato anche da imprese che operano nel settore delle costruzioni, delle comunicazioni, della chimica industriale; ma anche da enti e centri di ricerca. Fra le analisi effettuate da EcoTechSystems ci sono test microbiologici ed ecotossicologici sviluppati *ad hoc* per valutare l'impatto di specifiche sostanze, come le vernici usate per il rivestimento degli scafi delle navi o i surfattanti impiegati nella ripulitura degli sversamenti di petrolio. Nel primo caso si effettuano studi di valutazione sull'azione dei prodotti *antifouling*, capaci di evitare l'attecchimento della vegetazione marina sulle parti sommerse di navi o di opere industriali; nel secondo si eseguono simulazioni di perdite di greggio su microscala finalizzate a valutare l'efficacia dei prodotti usati per la dispersione di vari tipi di petrolio e soprattutto il loro impatto ambientale.

Queste ricerche mirano a migliorare l'ecocompatibilità dei prodotti di biorecupero che molto spesso, aumentando la biodisponibilità degli inquinanti contenuti nel petrolio, possono avere un effetto deleterio sugli organismi. Competenze sviluppate anche in ambito europeo con il progetto Kill Spill (Integrated Biotechnological Solutions for Combating Marine Oil Spills), finanziato dal VII Programma quadro dell'Unione Europea, attraverso cui è testata l'ecocompatibilità di prodotti innovativi per la degradazione e la rimozione di idrocarburi dagli ambienti marini attraverso approcci ecotossicologici ed ecologici. Non solo, sempre in ambito europeo, lo spin-off ha partecipato al progetto Ulixes per la messa a punto di metodologie ecocompatibili grazie a cui poter recuperare sedimenti marini contaminati, come i fanghi portuali di dragaggio, e nell'ambito del programma Horizon 2020 partecipa al progetto Marisurf, mirato allo studio dei potenziali effetti di biosurfattanti industriali derivati da microrganismi marini.

Proteggere il paesaggio

Fra i clienti di EcoTechSystems figurano anche enti e istituzioni pubbliche. Diverse agenzie regionali per la protezione ambientale (le ARPA), per esempio, si appoggiano ai ricercatori di Ancona per determinare lo stato di salute di ambienti di particolare rilievo paesaggistico e naturale. Come in Sardegna, dove sono stati analizzati 40 corpi idrici di transizione, alcuni dei quali di importanza strategica per la preservazione dell'habitat. Analoghi lavori sono stati effettuati in Sicilia e saranno svolti a breve in Puglia.

«Ogni volta che terminiamo un monitoraggio rendiamo accessibili i risultati attraverso le pubblicazioni di studi su riviste scientifiche», conclude Armeni. «È il nostro modo per contribuire alla ricerca e alla conoscenza aperta ed estesa dei dati di monitoraggio ambientale. Troppe volte si ripetono misurazioni e analisi in realtà già effettuate in passato solo perché i dati non sono disponibili, spendendo così soldi pubblici inutilmente».

di Telmo Pievani
è professore ordinario di filosofia delle scienze biologiche
dell'Università degli Studi di Padova

Riciclare per crescere

Un gene fornisce un'interpretazione interessante per l'evoluzione cerebrale umana

Il segreto della nostra intelligenza? Il riciclaggio creativo. Alla fine degli anni settanta del secolo scorso, il Nobel François Jacob lo aveva previsto in alcune memorabili conferenze sull'evoluzione come *bricolage*. A suo avviso, la formazione in *Homo sapiens* di una neocorteccia dominante che interagisce con un sistema nervoso e ormonale evolutivamente più antico, rimasto in parte autonomo e in parte sottoposto alla tutela della neocorteccia, somigliava a un accrocco.

Quarant'anni dopo scopriamo che questo rimodellamento ha avuto una precisa base genetica, che si manifesta in tutta la sua unicità nel corso della crescita di ciascuno di noi. Quello che infatti contraddistingue il cervello umano è la sua lenta maturazione per quasi due decenni dopo la nascita. *Homo sapiens* è un mammifero più neotenico degli altri, cioè trattiene i caratteri giovanili per un prolungato periodo di crescita. L'infanzia e l'adolescenza sono il nostro grande patrimonio evolutivo. Ne consegue che la cognizione umana è particolarmente dipendente dall'apprendimento esperienziale. I circuiti neurali nel corso dello sviluppo subiscono cambiamenti strutturali e funzionali. Sono letteralmente scolpiti dalle esperienze che facciamo.

Nel corso della crescita, questi cambiamenti nel cervello sono mediati da geni la cui trascrizione è regolata dall'attività neuronale stessa. Sono i geni che rendono il nostro cervello un capolavoro di plasticità. Recentemente il gruppo di neurobiologi coordinati da Michael Greenberg alla Harvard Medical School ha pubblicato su «Nature» alcuni risultati sperimentali che suggeriscono un'interpretazione molto interessante delle basi genetiche dell'evoluzione cerebrale umana. I ricercatori hanno messo in coltura neuroni umani e di topo, confrontando le loro reazioni a una stimolazione che simulava un'accresciuta attività neurale. Hanno così osservato quali geni nelle due colture *in vitro* venivano maggiormente sollecitati dall'attività neurale eccitata.

Molti geni, soprattutto quelli che reagiscono subito alla stimolazione, sono gli stessi nelle due specie, come previsto. Uno in particolare invece, che si attiva dopo e interessa quasi soltanto la neocorteccia, mostra una differenza cruciale: è il gene dell'osteocrina, noto per il suo ruolo essenziale nella crescita delle ossa e nel funzionamento dei muscoli nei vertebrati. L'espressione di questo gene non è presente nel cervello del topo e non viene indotta dalle stimolazioni nelle colture neurali di topo. Fa il suo lavoro nelle ossa e nei muscoli, ma nulla nel cervello del roditore. Nelle colture neurali umane al contrario è fortemente espresso nella neocorteccia, e soprattutto nei neuroni maturi della corteccia in fase di sviluppo.

Che ci sta a fare un gene deputato a ossa e muscoli nel bel mezzo della parte del cervello coinvolta nelle funzioni cognitive più complesse, tra cui pensiero e linguaggio? I ricercatori sono andati fino in fondo e hanno scoperto i cambiamenti genetici che permettono all'osteocrina di attivarsi nel cervello dei primati più simili a noi, ma non in quello degli altri mammiferi. Attraverso poche mutazioni nelle regioni promotrici (ora individuate una a una, ennesimo esempio ormai di prova diretta delle basi genetiche di un adattamento), il gene nel corso dell'evoluzione ha subito uno *switch*, una commutazione funzionale: dalle ossa è stato riutilizzato, o riciclato, per regolare la forma dei dendriti, per promuovere l'allungamento degli assoni e per favorire altri cambiamenti strutturali che i neuroni subiscono durante il periodo di apprendimento.

Esperienze formative. La nostra specie trattiene i caratteri giovanili per un periodo prolungato di crescita, motivo per cui le esperienze sono cruciali nello sviluppo cerebrale.

pixelfit/iStock

Dunque l'evoluzione della nostra fitta rete neurale, così pronta a farsi plasmare dalle esperienze vissute, è dipesa anche da un *exaptation* genetico, cioè da una cooptazione funzionale. Del resto, non è più economico ingaggiare quello che già c'è, e fargli fare qualcosa di nuovo, piuttosto che ripartire da zero?

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Cinque dita per tutti

La «geometria genica» che rende pentadattili quasi tutti i vertebrati terrestri

Avete fatto caso che la stragrande maggioranza dei vertebrati terrestri con quattro arti, detti quindi tetrapodi, hanno cinque dita nelle loro mani e soprattutto nei loro piedi, cioè nella parte estrema (distale) dei loro arti? Un fatto così generale deve avere una sua spiegazione, e infatti ne ha almeno una, appena scoperta (si veda Yacine Kherdjemil e collaboratori, in «Nature», Vol. 539, pp. 89-92).

Gli arti, con le dita, sono derivati dalle pinne dei pesci, quando gli antenati di questi animali sono passati dal mare alla terraferma, ma intorno a quella fase di transizione il numero delle dita era abbastanza variabile, mentre più di recente si è fissato a cinque, e si parla apertamente di pentadattilia. Un evento del genere non poteva passare certo inosservato ed è infatti da tempo che sono state fatte ipotesi e condotti esperimenti. Sono stati così implicati da tempo i geni *Hox* del gruppo 13, i più caudali.

Gli *Hox*, che ho studiato anche io anni fa con il mio gruppo di ricerca a Napoli, sono una famiglia di geni che controlla lo sviluppo del corpo, dalla base del cranio al coccige, di tutti gli animali al di sopra delle meduse. I 39 geni dei mammiferi, incluso l'essere umano, sono divisi in quattro complessi di circa dieci geni ciascuno, messi in fila, omologhi tra di loro e collocati su quattro cromosomi diversi. Ognuno di questi quattro complessi, chiamati *Hoxa*, *Hoxb*, *Hoxc* e *Hoxd*, è a sua volta omologo a un complesso di geni presenti nel moscerino della frutta, la celebre drosofila, chiamati «omeotici» e responsabili della struttura del corpo di quell'insetto. I geni *Hox* del topo (e dell'essere umano) sono numerati dall'1 al 13 per ogni complesso, con il gene 1 a controllare la parte più «anteriore», o cefalica, dell'animale e il gene 13 la più «posteriore», o caudale.

Secondo questo schema i geni *Hox* dovrebbero essere 52, cioè 13 per ognuno dei 4 complessi, ma non è così, perché qua e là ne manca qualcuno che dovrebbe esserci e non c'è. Sono presenti tutti e quattro – a, b, c e d - solo nel gruppo 4 e nel gruppo 13, cosa che non mancò di essere osservata già a suo tempo. In questa strana «geometria genica», i geni degli ultimi gruppi - 10, 11, 12 e 13 - controllano tra le altre cose anche lo sviluppo degli arti, distinti in una parte distale, le dita, e una prossimale, ovvero tutto l'arto fuorché le dita. Tutti i geni *Hox* sono regolatori di alto livello gerarchico, controllano cioè l'attività di altri geni, attraverso le specifiche proteine nucleari che codificano.

Adesso che cosa è stato osservato? Un certo numero di cose. Innanzitutto, in un topo di laboratorio la pentadattilia deriva dal fatto che nella regione delle dita è attivo il gene *Hoxa13* e non *Hoxa11*, mentre nel resto dell'arto è attivo il gene *Hoxa11* e non *Hoxa13*. I domini d'azione dei due geni sono quindi mutuamente esclusivi. Questo fatto è tipico degli arti dei vertebrati terrestri, mentre nei pesci i domini d'azione dei due geni sono largamente sovrapposti. Inoltre, in un topo in cui il gene *Hoxa11* è attivo anche nella regione delle dita, si osserva un certo grado di polidattilia, ovvero la presenza di un certo numero di dita soprannumerarie.

I tetrapodi hanno mani diverse ma stesso numero delle dita, come mostrano una mano umana e una zampa di drago di Komodo.

Nicolas Cegalerba/Getty Images

Infine, si è compreso il meccanismo che nei vertebrati terrestri vieta al gene *Hoxa11* di essere attivo anche nella regione delle dita. Esiste una specifica regione regolativa interna a *Hoxa11* che glielo vieta. Questa regione non è presente nei pesci. Possiamo forse concludere che il passaggio alla pentadattilia dei tetrapodi è associato alla riconfigurazione di questa regione regolativa, avvenuta più o meno al momento del passaggio dai pesci ai tetrapodi stessi. La cosa non è del tutto banale, anzi è abbastanza nuova, e può suggerire un paio di considerazioni di carattere generale.

Tetrapodi diversi hanno dita molto diverse, per forma e dimensioni, ma sono sostanzialmente sempre cinque. Questo dimostra natura e forza dei geni regolatori, che prescinde dai dettagli morfologici. Appare poi sempre più chiaro che non sono gli adulti a evolvere, ma gli embrioni. L'evoluzione, cioè, riguarda principalmente i meccanismi di sviluppo degli individui e non gli individui stessi. E i loro geni e non i loro organi. Meno male che la scienza non pensa, ma fa continuamente ipotesi su ipotesi, che poi va a verificare diligentemente!

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

Numeri perversi

I versi poetici dimostrano che la matematica deve essere meno eurocentrica

La metrica poetica stabilisce la struttura ritmica dei versi. In italiano, e più in generale nelle lingue romanze derivate dal latino, la metrica è basata sul numero delle sillabe e sugli accenti. Per esempio, l'*endecasillabo* è definito come un verso in cui l'ultimo accento ritmico cade sulla decima sillaba. Il nome deriva dal fatto che, poiché le parole italiane hanno in genere l'accento sulla penultima sillaba, un endecasillabo ha in genere 11 sillabe, appunto. Ma possono esserci endecasillabi di 10 sillabe, quando l'ultima parola ha l'accento sull'ultima sillaba: così succede nel *decasillabo* provenzale originario, da cui è appunto derivato il nostro endecasillabo. E possono esserci endecasillabi con 12 o più sillabe, per motivi opposti.

In greco e in latino la metrica era invece basata sulla lunghezza delle sillabe, che potevano essere brevi o lunghe. L'*esametro*, per esempio, era composto di sei «piedi», analoghi alle «battute» musicali: nomi che derivano entrambi dal fatto che il ritmo corrispondente veniva battuto con il piede. Il più comune dei piedi era il *dattilo*, «dito», corrispondente a una battuta ternaria costituita da una lunga e due brevi: come la suddivisione delle falangi nelle dita, appunto. L'unità di durata fonetica veniva chiamata *mora*, «ritardo», e le brevi e le lunghe corrispondevano rispettivamente a una e due more: un dattilo, dunque, a quattro more.

Anche la metrica del sanscrito era basata sulla lunghezza delle sillabe. In particolare il *matra vrttas*, «metro a lunghezza», consisteva di un numero fisso di more, che poteva essere realizzato mediante un qualunque piede avente quel numero di more. Per esempio, tre more si potevano realizzare con tre piedi diversi, tutti usati anche in greco e in latino: *tribraco* (breve-breve-breve), *trocheo* (lunga-breve) e *giambo* (breve-lunga). E quattro more con cinque piedi: *proceleusmatico* (breve-breve-breve-breve), *dattilo* (lunga-breve-breve), *anfibraco* (breve-lunga-breve), *anapesto* (breve-breve-lunga) e *spondeo* (lunga-lunga).

Ma mentre i Greci e i Latini si limitarono a usare questi e pochi altri piedi, gli Indiani si posero il problema di quanti piedi fossero possibili per ciascun numero di more. L'osservazione cruciale che essi fecero fu che ogni piede di n more doveva finire o in una breve (1 mora), o in una lunga (2 more): dunque, il numero di piedi di n more è la somma dei numeri di piedi di $n - 1$ more e di $n - 1$ more.

L'equazione ricorsiva $p(n) = p(n - 1) + p(n - 2)$ permette di calcolare tutti i valori in sequenza: basta notare che $p(1)$ e $p(2)$ sono rispettivamente uguali a 1 e 2, perché ci sono solo 1 piede di una mora (breve) e 2 piedi di due more (breve-breve, lunga). In particolare $p(3)$ e $p(4)$ sono uguali a 3 e 5 piedi, senza bisogno di enumerarli esplicitamente come sopra.

Questo argomento si trova nel *Chandonusasana*, un trattato di prosodia sanscrita scritto verso il 1150 da Acharya Hemachandra, famoso matematico giaina morto nel 1173: dunque, decenni prima che Leonardo da Pisa, detto Fibonacci, introducesse in Occidente la sua famosa successione nel *Liber abaci* del 1202. Per questo in India 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, ... si chiamano numeri di Hemachandra, e non di Fibonacci.

In natura. Le spirali formate dalla disposizione dei semi nei girasoli sono legate ai numeri di Fibonacci.

Dimostrazione a parte, il primo testo in cui si cita espressamente l'equazione ricorsiva per la determinazione di $p(n)$ e se ne calcolano esplicitamente i primi valori è il *Vrttajatisamuccaya* di Acharya Virahanka, un trattato risalente al VII secolo e dedicato appunto alla classificazione dei tipi di piedi di lunghezza determinata.

Il primo autore a rivelare invece la conoscenza dei numeri $p(n)$ fu Acharya Pingala, vissuto verso il IV o il V secolo prima della nostra era e autore del primo trattato di prosodia sanscrita: il *Chandahsastra*, che Virahanka commenterà un millennio dopo. Pingala ovviamente conosceva l'equazione ricorsiva che genera i numeri, anche se non la cita chiaramente.

Un'altra delle sue anticipazioni fu la rappresentazione binaria degli interi, introdotta in Occidente da Leibniz due millenni dopo, e ottenuta da Pingala ordinando i piedi mediante le sequenze di brevi e lunghe. Per esempio, i piedi breve, lunga, lunga-breve, lunga-lunga, lunga-breve-breve, lunga-breve-lunga, lunga-lunga-breve e lunga-lunga-lunga corrispondono ai numeri binari 0, 1, 10, 11, 100, 101, 110 e 111: cioè, ai numeri interi da 1 a 8 (non da 0 a 7, perché lo zero non era ancora stato inventato). A dimostrazione del fatto che la storia della matematica va riscritta in maniera meno eurocentrica.

Gloszilla /iStock

di Amedeo Balbi
Astrofisico, ricercatore al Dipartimento di fisica dell'Università di Roma Tor Vergata

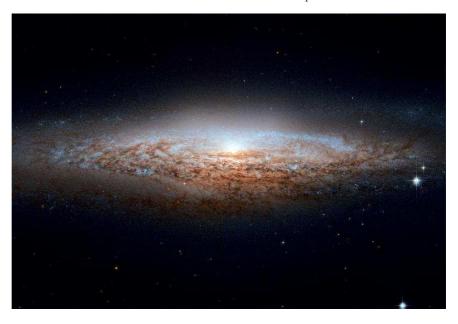
Una gravità emergente

Questa forza fondamentale potrebbe essere riconducibile a fenomeni più basilari

Tutto ciò che avviene nell'universo è governato da quattro interazioni fondamentali: elettromagnetismo, interazioni nucleari forte e debole, e gravità. Questa, almeno, è la visione standard della fisica moderna. Ma negli ultimi anni c'è stato un crescente interesse teorico verso scenari diversi, come quello secondo cui la gravità sarebbe un fenomeno «emergente», riconducibile a qualcosa di ancor più basilare. L'idea che un dato livello di descrizione della realtà possa emergere da un livello sottostante è del tutto comune in fisica. Pensiamo per esempio al comportamento di un gas: possiamo interpretarlo in modo del tutto soddisfacente in termini di variabili macroscopiche come temperatura, pressione o densità, usando le leggi della termodinamica, e al tempo stesso essere consapevoli di un livello di descrizione inferiore, microscopico, costituito dall'agitazione di un gigantesco numero di atomi e molecole.

L'esempio del gas è particolarmente appropriato, perché uno dei tentativi di descrivere la gravità come una proprietà emergente fa appello ad alcune interessanti somiglianze fra il formalismo matematico della gravità stessa e quello della termodinamica. L'origine dell'idea risale agli anni settanta, con gli studi sui buchi neri di Stephen Hawking e Jacob Bekenstein, ma negli ultimi anni ci sono stati nuovi sviluppi, soprattutto in seguito alle ipotesi del fisico olandese Erik Verlinde. Qualche anno fa, Verlinde ha suggerito che la gravità possa essere una forza «entropica», ovvero una manifestazione dell'entropia (la grandezza che misura il grado di disordine di un sistema) di un gran numero di unità microscopiche di informazione. La teoria non specifica quale sia la natura di questi «bit» di spazio-tempo, ma le analogie tra gravità e termodinamica sono sufficientemente intriganti da aver motivato un certo interesse per la proposta.

L'interesse è aumentato negli ultimi mesi, perché a novembre scorso Verlinde ha caricato sull'archivio *on line* arXiv un nuovo studio di 51 pagine che illustra alcune possibili conseguenze del suo scenario di gravità emergente su una delle grandi questioni irrisolte della fisica contemporanea, quella della materia oscura (il titolo dello studio è *Emergent Gravity and the Dark Universe*). Secondo Verlinde, quello che la maggior parte dei fisici ha finora interpretato come il segno dell'esistenza di misteriose particelle elementari debolmente interagenti potrebbe essere semplicemente un effetto su grande scala della natura emergente della gravità. In particolare, i risultati di Verlinde riproducono correttamente le previsioni di quello che, fino a oggi, è stato il principale scenario alternativo ai modelli di materia oscura, ovvero la cosiddetta MOND, la modifica della gravità proposta dal fisico Mordehai Milgrom all'inizio degli anni ottanta.

Milgrom aveva mostrato come le osservazioni anomale delle curve di rotazione galattica (uno dei principali indizi a favore dell'esistenza della materia oscura) potessero essere spiegate introducendo una deviazione dal comportamento newtoniano della forza di gravità sulle distanze cosmiche. Fino a oggi non c'erano ragioni fondamentali per giustificare la modifica suggerita da Milgrom: ma ora essa sembra scaturire in modo naturale nello scenario proposto da Verlinde. I dubbi restano, ed è presto per dire se la pista sia giusta, ma certo vale la pena tenere d'occhio gli sviluppi futuri della questione.

Rotazioni anomale. Secondo una teoria, le anomalie delle curve di rotazione galattica potrebbero essere spiegate con una legge di gravità modificata, senza bisogno di materia oscura.

Cortesia ESA/Hubble e NASA

Ne approfitto per ricordare l'astronoma statunitense Vera Rubin, scomparsa a dicembre. Nella rubrica di ottobre 2015 avevo raccontato come le sue osservazioni sulla velocità di rotazione delle galassie a spirale avessero contribuito ad avviare la ricerca sulla materia oscura: le stesse osservazioni potrebbero ora rappresentare l'inizio di un profondo ripensamento sulla natura della gravità.

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Il baculum dei parenti estinti

I maschi di australopiteco potrebbero essere stati provvisti di osso del pene?

C'è un filo rosso, e il rosso ci sta bene, visto che la storia di cui stiamo per parlare è un po' a «luci rosse» che mette in relazione fra loro due notizie di fine 2016, pubblicate entrambe (per curiosa coincidenza) lo stesso giorno di metà dicembre. Di una abbiamo già detto il mese scorso: si tratta del nostro studio basato sulle nuove impronte di creature bipedi, datate più di 3,6 milioni di anni fa, scoperte a Laetoli in Tanzania. Da esse abbiamo dedotto che il gruppo di *Australopithecus* rappresentato dall'insieme delle impronte vecchie e nuove messe in luce a Laetoli (al momento cinque individui) fosse composto da un maschio di dimensioni corporee notevoli e da altri individui tutti più piccoli, probabilmente un paio di femmine e un paio di cuccioli. Questo dato, a sua volta, ci ha portato a sostenere un'ipotesi già in campo da tempo, cioè che almeno quella specie di *Australopithecus* (la stessa di Lucy) avesse una struttura sociale poliginica ad «harem» – con un solo maschio riproduttore, le sue femmine e la loro prole – ben diversa da quella dei promiscui scimpanzé o dalla nostra, che tendiamo a formare comunità di coppie relativamente stabili.

La seconda notizia riguarda il cosiddetto *baculum* o «osso del pene». Noi umani non ne disponiamo, ma è presente in molti mammiferi, fra cui parecchie specie di primati attuali ed estinte. La ricerca, pubblicata sui «Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences», mette in chiaro attraverso una raffinata analisi che il baculum deve essere comparso in un mammifero ancestrale placentato, precedente alla separazione evolutiva fra primati e carnivori, ovvero fra 145 e 95 milioni di anni fa. Successivamente, si osservano marcate variazioni di lunghezza del baculum fra i primati (come fra i carnivori), che non sembrano essere in rapporto alla dimensione dei testicoli, ma che hanno una chiara relazione con la storia evolutiva dell'ordine. In particolare, le dimensioni aumentano fra le scimmie del Vecchio Mondo (Catarrine), ma la tendenza sembra invertirsi in alcune scimmie antropomorfe attuali, umani compresi.

Viene infine registrata una correlazione positiva fra la lunghezza del baculum e la durata della penetrazione: le specie in cui la penetrazione è prolungata dopo la copula tendono ad avere un baculum più lungo. Un'analoga relazione si osserva a favore delle specie poligame e di quelle in cui l'accoppiamento è stagionale.

Se ne deduce che, in simili contesti di scelta sessuale, una penetrazione prolungata (favorita da un robusto baculum) inibirebbe un successivo accoppiamento da parte della femmina, o quanto meno lo ritarderebbe, accrescendo così la possibilità che il maschio fecondi con successo la sua compagna, a dispetto di possibili concorrenti. Al tempo stesso, la lunghezza del baculum diminuirebbe il percorso dello sperma, aumentando la quantità di spermatozoi trasportato a ridosso del canale cervicale.

Se allora volessimo mettere insieme le due ricerche pubblicate a metà dicembre 2016, potremmo arrivare a ipotizzare che in *Australopithecus* (almeno nella specie di Lucy), in cui il modello riproduttivo dominante sarebbe stato di tipo poligamico, i maschi dei nostri parenti estinti dovevano essere provvisti di baculum. Questo sarebbe poi scomparso in seguito, con l'emergere della monogamia come modello dominante, che a sua volta potrebbe aver coinciso con quel profondo cambiamento biologico ed ecologico che nel corso della nostra evoluzione fu rappresentato dalla comparsa del genere *Homo*, avvenuta in Africa intorno a due milioni di anni fa.

Peraltro l'osso del pene, come ogni altro elemento scheletrico, dovrebbe ben fossilizzare: si tratta allora di trovare i resti di un maschio di *Australopithecus* con tanto di baculum fossile, magari proprio a Laetoli.

Per la zuppa. Osso del pene di una tigre in vendita in un mercato di Myanmar, nel Sudest asiatico, come ingrediente per zuppe considerate afrodisiache.

Pallava Bagla/Corbis via Getty Images

SVILUPPO SOSTENIBILE

Il cibo delle megalopoli

L'espansione urbana globale influirà negativamente sulla produzione alimentare

Sempre più grande. L'urbanizzazione di Shenzhen, megalopoli da 11 milioni di abitanti nella Cina meridionale, in due immagini satellitari scattate in anni diversi. Quella a sinistra è del 1999, l'immagine a destra è del 2008: in questo intervallo di tempo sono scomparse numerose aree verdi, in parte destinate alla produzione alimentare, sostituite da edifici e infrastrutture urbane.

Cortesia NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS, e U.S./Japan ASTER Science Team

Le proiezioni demografiche delle Nazioni Unite prevedono che entro il 2030 la popolazione mondiale supererà gli 8,5 miliardi di individui, aprendo a una serie di interrogativi sul futuro prossimo. Tra questi c'è la sicurezza alimentare cioè la possibilità di garantire il sostentamento a tutti gli abitanti del pianeta. Uno studio del Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change di Berlino, pubblicato sulla rivista «Proceedings of the National Academy of Sciences», traccia un bilancio a breve termine delle conseguenze di inurbamento della popolazione ed espansione delle megalopoli sulle produttività delle colture per cibo.

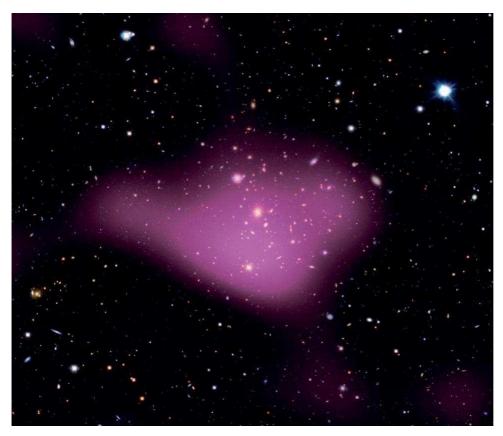
Nella maggior parte del mondo, le aree urbane si espandono più velocemente di quanto cresca la loro popolazione. Una caratteristica distintiva dell'espansione in atto è la fusione di più agglomerati in un unico tessuto urbano, a discapito delle aree agricole limitrofe, che rappresentano oltre il 60 per cento dell'intera superficie coltivabile della Terra. Incrociando i dati delle principali organizzazioni per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO e IFPRI) con una mappa satellitare ad alta definizione basata sull'uso del suolo, Felix Creutzig e colleghi hanno calcolato la produttività per le 16 principali colture alimentari relativamente al 2000 e al 2005; per lo stesso intervallo di tempo è anche stata stimata l'espansione delle aree urbane più popolose del pianeta. Basandosi sulle proiezioni demografiche delle Nazioni Unite, sono stati quindi ipotizzati tre diversi scenari di urbanizzazione al 2030.

I risultati indicano che entro quella data la crescita delle megalopoli avrà sottratto tra l'1,8 e il 2,4 per cento del suolo coltivabile del pianeta. Le proiezioni evidenziano una notevole disparità regionale: l'80 per cento circa dei suoli coltivabili saranno persi in Asia e Africa, i continenti dal più elevato incremento demografico. In Asia si verificherà la maggiore riduzione in termini assoluti mentre in Africa si registrerà la perdita percentuale di terreni coltivabili più elevata. In queste regioni il fenomeno sarà accentuato poiché i terreni coltivabili sono spesso divisi in una miriade di piccoli appezzamenti, più vulnerabili all'espansione urbana. Gli autori sottolineano inoltre che buona parte di questi suoli è due volte più produttiva rispetto alla media globale. Se a livello locale la riduzione colpisce i mezzi di sussistenza delle comunità, su scala mondiale si traduce in una diminuzione sensibile della produzione alimentare compresa tra il 3,4 e il 4,2 per cento. Una minaccia concreta per la sicurezza alimentare di una popolazione mondiale che entro il 2030 aumenterà di un miliardo di persone.

Davide Michielin

ASTRONOMIA

L'inattesa distribuzione della materia oscura

Nuove osservazioni suggeriscono che questa materia misteriosa sia più diluita e omogenea

Un modo per rilevare la presenza di materia oscura è osservare il fenomeno del *gravitational lensing*, ovvero la deflessione della luce al passaggio in prossimità di grandi masse, come galassie e ammassi di galassie posti fra noi e la sorgente lontana. Ma a livello cosmologico c'è un ulteriore effetto di lente gravitazionale debole, prodotto dalle strutture a grande scala (come i superammassi), denominato *cosmic shear*, o forza di taglio cosmica, molto più flebile del gravitational lensing (l'intensità relativa può andare dallo 0,1 all'1 per cento), e quindi difficilmente misurabile se non con indagini molto profonde ed estese. Nel caso dello shear cosmico, infatti, non vale l'approssimazione di lente sottile (secondo cui le dimensioni della lente gravitazionale sono trascurabili rispetto alla distanza percorsa), perché le strutture possono estendersi per grandi distanze lungo la linea di vista.

Adesso, proprio grazie allo studio dello shear cosmico reso possibile dalle osservazioni del progetto KiDS (Kilo Degree Survey), gli astronomi della collaborazione, fra i quali alcuni italiani, hanno scoperto che la distribuzione della materia oscura è molto più diluita e omogenea rispetto a quello che si era ipotizzato e osservato finora. Effettuata con lo strumento VLT Survey Telescope dell'European Southern Observatory, sul Paranal, in Cile, KiDS è la più ampia indagine mai indirizzata a questo studio, coprendo oltre 450 gradi quadrati di cielo (poco più dell'uno per cento dell'intero cielo, divisi in cinque diverse porzioni) e circa 15 milioni di galassie.

Tuttavia, come descritto nell'articolo pubblicato su «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», le osservazioni di KiDS sono in contrasto con quelle della sonda Planck dell'Agenzia spaziale europea, che pure sono di alta precisione. Una volta eliminati gli effetti sullo shear causati dalla materia ordinaria (che concorre sempre al gravitational lensing), il valore del parametro studiato – che misura il grado di addensamento della materia nell'universo – è molto più piccolo di quello dedotto dai dati di Planck. Un risultato che costringe i cosmologi a ripensare ai loro modelli teorici e ad attendere nuovi strumenti e nuove *survey*.

Emiliano Ricci

Una mappa per il fondo di raggi gamma

Un gruppo di ricerca guidato dall'italiano Mattia Fornasa dell'Università di Amsterdam ha studiato i dati registrati dal telescopio spaziale Fermi della NASA per produrre una mappa dettagliata del fondo di raggi gamma. In particolare, Fornasa e collaboratori si sono avvalsi di 81 mesi di osservazioni del rivelatore Large Area Telescope, a bordo di Fermi, in orbita dal 2008, capace di effettuare una scansione dell'intero cielo ogni tre ore con estrema precisione.

I raggi gamma, all'estremità più energetica dello spettro elettromagnetico, sono tipicamente prodotti da fenomeni ad altissima energia, come l'accrescimento di buchi neri supermassicci, le esplosioni di supernove o le rotazioni di pulsar, ma potrebbero anche essere prodotti da processi come annichilazioni o decadimenti di materia oscura. L'analisi delle osservazioni, presentata su «Physical Review D», mostra la presenza di due contributi separati al fondo gamma: uno, ad alta energia, sembra originato da blazar (nuclei galattici attivi particolarmente energetici), l'altro, a energie più basse, è di più difficile interpretazione. Le osservazioni mostrano infatti caratteristiche non riconducibili a classi note di sorgenti gamma. Ma resta certa l'esclusione di fenomeni connessi a interazioni fra e con materia oscura.

Emiliano Ricci

Cortesia Kilo-Degree Survey Collaboration/A. Tudorica e C. Heymans/ESO (*immagine cosmo da KiDS*); johan63/iStock (*illustrazione struttura Terra, a fronte in alto*); guenterguni/iStock (*foresta pluviale africana, a fronte in basso*)

SCIENZE DELLA TERRA

Un serpente nelle viscere della Terra

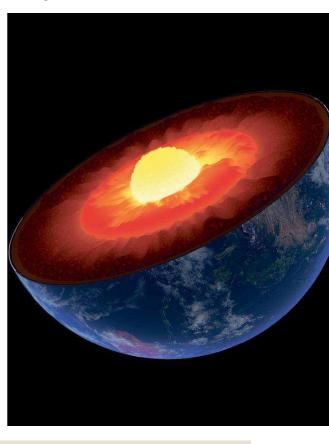
Una colossale corrente a getto di ferro fuso scorrerebbe tra due regioni del nucleo terrestre

Un gigantesco serpente metallico striscia nelle profondità della Terra, avvolgendo con le sue spire circa metà del pianeta. Non si tratta di un'allegoria medioevale bensì dei risultati di uno studio pubblicato su «Nature Geoscience» da scienziati dell'Università di Leeds e dell'Università di Copenaghen.

Secondo gli autori, coordinati da Philip W. Livermore dell'Università di Leeds, il nucleo esterno terrestre, dove ha origine il campo magnetico, è solcato da una vasta corrente a getto, cioè un flusso caratterizzato da una sezione ridotta e grande velocità, costituita da ferro fuso. La scoperta è stata possibile grazie ai dati raccolti dai tre satelliti della missione Swarm dell'Agenzia spaziale europea. Lanciata nel 2013 per studiare con elevata risoluzione intensità, direzione e variazioni del campo magnetico terrestre, la missione aiuterà a comprendere i motivi per cui negli ultimi secoli il campo geomagnetico continui a indebolirsi.

Situata a circa 3000 chilometri di profondità, la corrente a getto ha una larghezza di 420 chilometri e procede in direzione ovest tra Alaska e Siberia a una velocità di 40 chilometri all'anno. Il flusso di ferro fuso scorre tra due aree distinte del nucleo, lungo i limiti di quello che gli autori hanno definito «cilindro tangente» passante per il nucleo interno e orientato secondo l'asse di rotazione. In prossimità di questo confine, il ferro fuso del sovrastante nucleo esterno viene spinto lateralmente, formando il getto. La sua velocità è di ordini di grandezza superiore a qualunque movimento osservato all'interno del pianeta e negli ultimi 15 anni starebbe accelerando. Gli autori ipotizzano che possa trattarsi della fase acuta di un ciclo plurimillenario: l'attuale intensità influenzerebbe la rotazione stessa del nucleo interno.

La scoperta della corrente a getto di ferro fuso non si limita ad ampliare la conoscenza della struttura interna del nostro pianeta. Lo studio del comportamento del nucleo aggiungerà nuovi elementi nella comprensione delle dinamiche di inversione magnetica che periodicamente interessano la Terra.

Davide Michielin

Che cosa succede nel cuore dell'Africa?

Il continente africano è caratterizzato dal passaggio netto da un clima desertico a nord a uno lussureggiante, con enormi foreste e abbondanti precipitazioni stagionali, nella sua fascia centrale. Molta attenzione si pone di solito all'eventuale espansione verso nord di queste zone, specie quelle desertiche, ma poco si sa della situazione del centro della foresta pluviale. Oggi ci sono indizi che negli ultimi due decenni la precipitazione durante la stagione delle piogge in Africa centrale sia stata meno copiosa, un fenomeno che non è stato riscontrato nelle altre foreste tropicali. Sono dati affidabili? E a che cosa sarebbe dovuto il fenomeno? Wenjian Hua, dell'Università di Albany e collaboratori hanno risposto su «Environmental Research Letters».

Combinando dati a terra e osservazioni da satellite e concentrandosi sulla stagione delle piogge primaverili, in effetti i ricercatori hanno trovato un netto andamento in diminuzione per la quantità di pioggia caduta. Inoltre, usando dati rianalizzati da European Center Medium Weather Forecast e NASA, hanno scoperto stretti legami di ciò che è accaduto con mutamenti nella circolazione atmosferica a larga scala (nello specifico con l'indebolimento dei fenomeni monsonici che colpiscono l'Africa occidentale) e con le variazioni nelle temperature superficiali degli oceani, specie gli aumenti molto alti nell'Oceano Indiano. L'articolo evidenzia un fenomeno che sembra stia innescando una diminuzione nella capacità di fotosintesi di queste foreste che potrebbe alterarne composizione e struttura, con impatti su biodiversità e assorbimento di anidride carbonica. D'altro lato, il legame trovato con variazioni notevoli di temperatura del mare deve spingere ad approfondire se queste variazioni siano dovute a cicli naturali o agli influssi umani, che tanto ruolo hanno avuto globalmente e nel lungo periodo sull'intrappolamento di calore negli oceani.

Antonello Pasini

BIOLOGIA

Il segreto delle cellule diverse

La pluricellularità emerge da processi attivi nell'antenato unicellulare comune a tutti gli animali

Una delle tappe fondamentali che ha portato le forme di vita a evolversi dai semplici organismi degli albori alla straordinaria biodiversità attuale è stato il passaggio dall'unicellularità alla multicellularità, che avvenne 800 milioni di anni fa. La caratteristica principale degli organismi pluricellulari, o metazoi, è la capacità di generare cellule diverse che, esprimendo gruppi di proteine differenti, assolvono funzioni distinte all'interno dell'organismo. A oggi, però non è ancora chiaro come i meccanismi molecolari che permettono la differenziazione cellulare si siano originati nei metazoi.

Secondo uno studio pubblicato su «Developmental Cell» da Arnau Sebé-Pedrós del Weizmann Institute of Science di Rehovot, in Israele, e colleghi i processi intracellulari che permettono alle cellule di differenziarsi in tipi diversi erano probabilmente già presenti nell'antenato unicellulare di tutti gli animali. Questa conclusione è stata possibile grazie all'analisi dell'intero proteoma, l'insieme di tutte le proteine espresse nel corso del ciclo vitale, di *Capsaspora owczarzaki*, un organismo unicellulare strettamente imparentato con i metazoi. Nonostante sia costituita da un'unica cellula, questa specie genera tre tipi cellulari diversi in momenti differenti della sua breve vita. Alla base della variazione della tipologia cellulare ci sarebbe l'attivazione di uno specifico set di proteine per ogni fase del ciclo vitale, in modo analogo a quello che avviene nei diversi tessuti degli animali. In particolare, le transizioni tra le diverse fasi vitali sono mediate da schemi di trasduzione del segnale intracellulare basati su medesime vie biochimiche che sono usate nelle cellule dei metazoi.

Data la posizione filogeneticamente basale di *C. owczarzaki* rispetto ai metazoi, è quindi possibile che anche gli antenati comuni dei pluricellulari fossero in grado di formare specifici tipi cellulari in momenti diversi, capacità fondamentale per la loro aggregazione in gruppi di cellule con funzioni distinte e la successiva evoluzione dei tessuti animali.

Andrea Romano

Sesso perché sì

A livello biologico il sesso è considerato un processo lento e ad alto dispendio energetico, ma nel corso di milioni di anni è riuscito ad affermarsi come una delle strategie più efficaci di riproduzione e adattamento all'ambiente. Merito dell'ampia variabilità genetica introdotta di generazione in generazione, ma anche di una sua conseguenza: una migliore difesa dalle infezioni parassitarie. Lo sostiene uno studio, pubblicato sui «Proceedings of the Royal Society B», che ha dimostrato come una prole generata da riproduzione sessuata sia due volte più resistente alle infezioni rispetto ai cloni provenienti da una riproduzione di tipo asessuata. Cambiamenti su larga scala come questo, però, sono difficili da riprodurre in laboratorio, e i ricercatori trovano tuttora difficoltà a mostrare quali elementi siano riusciti a favorire il sesso rispetto a una riproduzione di tipo clonale in cui ogni individuo è uguale a quello successivo. Stuart Auld e colleghi dell'Università di Stirling, nel Regno Unito, hanno dovuto quindi usare un approccio innovativo per valutare costi e benefici del sesso.

Per prima cosa hanno raccolto nei pressi delle coste scozzesi più di 6000 esemplari di *Daphnia magna*, un piccolo crostaceo planctonico in grado di riprodursi sessualmente e asessualmente. In seguito, dopo averli separati in due gruppi e fatti riprodurre rispettivamente in maniera sessuata e asessuata, hanno esposto le pulci d'acqua (così viene comunemente chiamata *Daphnia*) al parassita *Pasteuria ramosa*. L'operazione poi, è stata ripetuta a distanza di un anno, in modo da valutare la resistenza sviluppata dagli organismi che nel frattempo avevano continuato a riprodursi in entrambi i modi. «Comparando individui provenienti dalla stessa madre abbiamo scoperto che la prole proveniente da una riproduzione di tipo sessuale si ammala meno della prole generata per via clonale», ha spiegato Auld. Gli autori dello studio sostengono quindi che il costante bisogno di evitare le malattie possa aiutare a spiegare perché il sesso si sia affermato come mezzo efficace di riproduzione nonostante i costi che comporta.

Mattia Maccarone

urfinguss/iStock (*illustrazione vasi sanguigni*); Xesai/iStock (*coppia con scarpe*)

GENETICA

Dove sono le altre Dolly?

Una ricerca indica le ragioni dello scarso successo della clonazione di mammiferi

Il 5 luglio 1996 nasceva in Scozia la pecora Dolly, il primo mammifero clonato a partire da una cellula somatica della madre. Da allora sono stati clonati bovini, equini, suini, topi, perfino cani e gatti di padroni inconsolabili (e molto ricchi). Ma ancora oggi la clonazione dei mammiferi resta una sfida. Uno studio pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» da Harris A. Lewin dell'Università dell'Illinois a Urbana–Champaign e colleghi spiega ora perché la maggior parte dei tentativi fallisce.

Dolly è stata clonata con la tecnica del trasferimento nucleare: si trasferisce il nucleo di una cellula adulta in un ovulo denucleato non fecondato. Gli embrioni ottenuti sono impiantati nell'utero di riceventi che partoriranno cloni identici al donatore della cellula somatica (prelevata da cute, sangue o altri tessuti). La tecnica è sfruttata in zootecnia per clonare bestiame di particolare interesse, ma il tasso di successo è molto basso: in media meno del dieci per cento degli animali clonati sopravvive alla nascita. Per capirne il motivo, i ricercatori hanno studiato tessuti di embrioni clonati di mucca, derivati dalla stessa linea cellulare, a 18 e 34 giorni di sviluppo, e l'endometrio delle mucche gravide, e ne hanno confrontato lo sviluppo con quello di mucche non clonate concepite tramite inseminazione artificiale.

Il sequenziamento dell'RNA ha evidenziato difetti di regolazione genica che spiegano l'elevata mortalità degli embrioni clonati. Dopo 18 giorni, i tessuti extra embrionali mostravano anomalie nell'espressione di oltre 5000 geni. Al trentaquattresimo giorno di sviluppo, l'espressione genica è più simile a quella degli embrioni ottenuti con fecondazione artificiale; in compenso, quella dei tessuti dell'utero è diversa. Sono stati individuati 123 geni responsabili di malformazioni nella placenta, 121 associati alla morte prematura dell'embrione e 14 a un suo impianto difettoso. I dati confermano che l'interazione tra utero e tessuti extra embrionali è fondamentale durante l'impianto ed è un passaggio cruciale per la sopravvivenza dell'embrione.

Eugenio Melotti

L'evoluzione della longevità nei primati

Fra i primati si vive meglio e più a lungo, ma sono le femmine le più longeve. Lo ribadisce un gruppo di ricercatori coordinati da James W. Vaupel del Max-Planck-Institut für demografische Forschung a Rostock, che ha confrontato longevità degli esseri umani e quella di alcuni primati non umani. Nello studio gli scienziati hanno analizzato le date di nascita e di morte di sei popolazioni umane dal XVIII secolo a oggi e analoghi campioni di dati relativi a sei specie di primati non umani (dai lemuri agli scimpanzé), paragonando la speranza di vita media e la distribuzione dell'età alla morte in ciascuna popolazione.
Come si legge sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», i risultati più importanti individuano per la prima volta due tendenze separate: da un lato l'incredibile aumento della longevità umana negli ultimi 200 anni, riconducibile soprattutto a fattori ambientali, dall'altro la crescita più graduale della vita media negli altri primati. La maggior parte delle popolazioni ha poi mostrato che la speranza di vita non è condivisa tra maschi e femmine in egual modo, poiché gli individui più longevi tendono a essere femmine, un tratto che è andato accentuandosi nella nostra specie e che potrebbe avere ora una spiegazione evolutiva.

Sara Mohammad Abdellatif

Colin McPherson/Corbis/Getty Images (*Dolly*); a fronte: ZOOM DOSSO/AFP/Getty Images (*Ebola, pagina a fronte in alto*); Rosmarie Wirz/Getty Images (*piante, pagina a fronte in basso*)

IMMUNOLOGIA

Un vaccino per l'Ebola

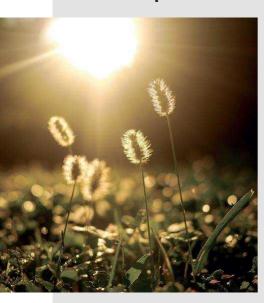
La copertura ottenuta è totale, ma la vaccinazione è efficace solo per una delle specie del virus

Ottime notizie sul fronte della lotta alla febbre emorragica causata da diverse specie di *Ebolavirus*, la più pericolosa delle quali è nota come *Zaire ebolavirus*. Un gruppo di ricerca coordinato da Marie-Paule Kieny dell'Organizzazione mondiale della Sanità ha pubblicato su «The Lancet» i dati della prima sperimentazione clinica effettuata per provare sicurezza ed efficacia del vaccino rVSV-ZEBOV, fino a oggi testato solo su modelli animali. I risultati sono promettenti: su un campione di quasi 6000 persone, la copertura del vaccino è stata totale.

Sviluppato dall'azienda farmaceutica statunitense Merck, rVSV-ZEBOV consiste nel virus della stomatite vescicolare (innocuo per gli uomini) ingegnerizzato con un gene dello *Z. ebolavirus* codificante per una glicoproteina che innesca la produzione di anticorpi da parte del sistema immunitario umano. I ricercatori hanno somministrato rVSV-ZEBOV a 5837 abitanti della Guinea, in Africa occidentale, dove un anno fa sono scoppiati vari casi di Ebola. L'approccio adottato è stato quello della «vaccinazione ad anello»: il vaccino è stato iniettato alle persone che, nelle precedenti tre settimane, avevano avuto contatti con un individuo infetto, partendo dai parenti e amici più stretti. Nessuna delle persone vaccinate, adulti e bambini, si è ammalata di Ebola nei dieci giorni successivi al trattamento (l'intervallo di tempo medio di incubazione del virus); sono invece emersi 23 casi di infezione tra i non vaccinati. Quasi metà dei soggetti ha riportato almeno un effetto collaterale a ridosso della vaccinazione, per lo più di lieve entità come mal di testa, affaticamento e dolori muscolari. Solo in tre casi l'azione del vaccino ha causato reazioni più importanti: febbre, un episodio allergico e influenzale.

Il via libera alla messa in commercio di rVSV-ZEBOV, che è efficace solo per *Z. ebolavirus* e probabilmente non garantisce un'immunità perenne, è atteso per il 2018 anche se Merck ha già pronte 300.000 dosi da usare in caso di emergenza, per scongiurare il dramma delle migliaia morti registrate in Africa occidentale per l'epidemia scoppiata tra il 2013 e il 2016.

Martina Saporiti

Luce e temperatura nelle piante sono lette dagli stessi sensori

I fitocromi sono proteine dei vegetali che controllano processi fisiologici dipendenti dalla luce ma non fotosintetici: per esempio germinazione, fioritura e direzione di crescita delle foglie. Dalla prima metà del Novecento è noto che i fitocromi, fotorecettori sensibili alle frequenze del rosso, forniscono alle piante le istruzioni chimiche per adattarsi nel modo migliore all'ambiente in cui si trovano. Da sempre, inoltre, si sa che non è solo la luce a influire sulla crescita delle piante, ma anche la temperatura; i meccanismi con cui le piante riescono a misurarla, però, sono stati per lungo tempo un mistero. Ora su «Science» sono stati pubblicati due studi, dell'Università di Cambridge e dell'Università di Buenos Aires, che dimostrano come siano gli stessi fitocromi a svolgere anche la funzione di termometri. Grazie a una speciale tecnica spettroscopica, gli scienziati hanno misurato l'attività dei fitocromi di tipo B (phyB), inibitori della crescita, in piante di *Arabidopsis* (che ha cinque geni che codificano per i fitocromi) al variare della temperatura, scoprendo che attività e variabilità della temperatura sono fortemente correlate. In particolare, hanno osservato che la temperatura condiziona le due modalità note con cui i phyB sono inattivati dalla luce, le cosiddette «*dark reversion*» lenta e veloce. La prima avviene in modo lento e graduale al giungere della notte, la seconda è 100 volte più rapida e serve per regolare più prontamente lo sviluppo delle piante a fronte dei cambiamenti durante il giorno. Ebbene, condizioni ambientali più calde accelerano entrambi i processi di dark reversion, cioè i fitocromi di tipo B sono disattivati più rapidamente, e questo avviene soprattutto se la luce è debole. La comprensione di questi meccanismi aiuterà a difendere le colture da sbalzi termici e cambiamenti del clima.

Marina Semiglia

Il batterio super resistente

Lechuguilla Cave nel New Mexivo è tra le grotte più lunghe della Terra. Qui, a oltre 300 metri di profondità, Gerard D. Wright della statunitense McMaster University e colleghi hanno scoperto un batterio rimasto isolato dal resto del mondo da circa quattro milioni di anni e nonostante questo super resistente agli antibiotici. Si chiama *Paenibacillus sp. LC231* e resiste a 26 su 40 antibiotici testati. Questa eccezionale resistenza, si legge su «Nature Communications» dove sono riportati i risultati del sequenziamento del genoma batterico, è dovuta a 12 famiglie di geni già noti per la loro azione anti-antibiotici e a cinque meccanismi di resistenza mai osservati, dunque di particolare importanza per la lotta ai *superbugs*.
Il fatto che *Paenibacillus sp. LC231* abbia conservato geni utili a sconfiggere gli anitbiotici vivendo in una grotta in cui l'essere umano non ha messo piede in milioni di anni significa che la resistenza è un fenomeno più diffuso e naturale rispetto a quello che si pensava. In un ambiente come una caverna, i microrganismi competono per poche risorse disponibili combattendosi a colpi di «armi chimiche», le stesse che sfruttiamo per produrre antibiotici di origine naturale, e hanno evoluto meccanismi di difesa. **(MaSa)**

Parto cesareo ed evoluzione umana

Philipp Mitteröcker dell'Università di Vienna ha pubblicato sui «Proceedings of the National Academies of Science» un esempio di come un'alterazione «moderna» della selezione naturale, influisca sull'evoluzione umana. La nostra specie è soggetta a due contrastanti spinte evolutive: da una parte è vantaggioso avere neonati di grandi dimensioni perché sopravvivono meglio, dall'altra conviene siano piccoli perché più grandi sono e più difficoltà hanno a passare per il canale del parto. Entrambe le spinte dipendono da fattori ambientali e genetici, fra cui i geni dei padri, che non sono selezionati dalle morti per parto. Il risultato è che nel tre per cento dei parti il neonato non passa per il bacino della madre, il che un tempo portava alla morte di entrambi.

Ma visto che oggi anche questo tre per cento sopravvive grazie al parto cesareo, il panorama evolutivo è mutato, e, secondo Mitteröcker, negli ultimi cinquant'anni il tasso di «disproporzione feto-pelvica» sarebbe aumentato fra il 10 e il 20 per cento. In altre parole, la sopravvivenza di madri e figli un tempo condannati, e la conseguente trasmissione dei loro geni, riduce la pressione selettiva verso bacini femminili più larghi e neonati più piccoli, aumentando il numero di parti realizzabili solo chirurgicamente e, alla lunga, cambierà anche la nostra specie. **(AlSa)**

Scimmie parlanti

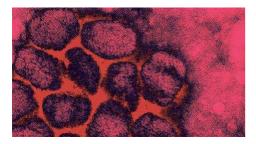
Aveva ragione Darwin: le scimmie non parlano perché non ne hanno le capacità cerebrali, e non perché il loro apparato vocale non sappia articolare suoni vocalici più complessi di grida e grugniti, come vorrebbe la tesi oggi più in voga.

William Tecumseh Sherman Fitch III, cognitivista e biologo evoluzionista, lo mostra su «Science Advances» studiando un macaco. Riprendendolo ai raggi X durante i più vari movimenti della bocca, incluse le vocalizzazioni, ha registrato tutte le configurazioni assunte dai componenti del suo tratto vocale, e ha verificato che corrispondono a quelle necessarie per pronunciare cinque vocali distinte, numero tipico di molte lingue umane. In una simulazione al computer, il tratto vocale del macaco è riuscito a riprodurre comuni frasi inglesi, con un suono strano ma a noi comprensibile. E poiché la sua anatomia è simile a quella delle altre scimmie, antropomorfe e non, lo studioso conclude che tutte, in teoria, potrebbero parlare. **(GiSa)**

Gli effetti epigenetici dell'obesità

Fra i marcatori biologici che indicano un aumento del rischio di sviluppare malattie associate all'obesità, in futuro potremmo trovare la metilazione del DNA in alcuni geni, ovvero il legame di molecole chiamate gruppi metile al DNA che, sebbene non alteri la sequenza del DNA, può influire sull'attività genica. Lo suggerisce uno studio di scienziati di 75 istituti di ricerca di numerosi paesi, tra cui fondazioni di ricerca e centri universitari italiani, coordinati da Simone Wahl e colleghi dell'Helmholtz Zentrum München.
Secondo lo studio, il grasso corporeo in eccesso può alterare la metilazione del DNA, cioè influire su un meccanismo fondamentale nella regolazione dell'espressione genica e, dunque, nell'insorgenza di malattie. Come si legge su «Nature», i ricercatori hanno studiato il genoma di circa 5000 persone per verificare se una maggiore quantità di grasso fosse associata a un processo di metilazione del DNA alterato. Scoperta l'esistenza dell'associazione, si sono chiesti quali fossero i geni coinvolti e se avessero un significato clinico, identificando i soggetti più a rischio di sviluppare il diabete di tipo 2, una delle conseguenze più diffuse dell'obesità. Tra le quasi 200 regioni geniche individuate spicca *ABCG1*, che regola la secrezione di insulina, per cui gli scienziati hanno osservato che, maggiore è il grado di metilazione, più alto è il rischio che l'obeso sviluppi la malattia. **(SaMo)**

Derek Croucher/Getty Images (*pillole*); Rahul Sheth / EyeEm/Getty Images (*macachi*); Image Source/Getty Images (*obeso*)

L'età del virus del vaiolo

Il corpo mummificato di un bambino vissuto nel XVII secolo riscrive la storia del vaiolo e del suo agente infettivo, *Variola virus*, provando che la malattia fece la sua comparsa in epoca recente e non in epoca egizia come avevano fatto supporre cicatrici trovate su mummie di 4000 anni fa e confuse con i segni dell'infezione.

Analizzando il DNA estratto dai tessuti della mummia, Hendrik Poinar della canadese McMaster University ha trovato frammenti del genoma virale, i più antichi mai scoperti. Dopo averli combinati e confrontati con il genoma di 49 ceppi moderni di *Variola*, si legge su «Current Biology», Poinar ha ricostruito l'albero genealogico del virus risalendo al progenitore comune apparso tra il 1530 e il 1645. Riguardo a come sia comparso, potrebbe trattarsi di un patogeno umano che divenne più virulento in seguito a mutazioni o di un virus animale passato agli esseri umani. In questo caso, non è escluso sia ancora presente e possa tornare a infettarci. (MaSa)

L'attrazione fatale del sesso col robot

Comprereste mai un robot per fare sesso? Anche se non siete disposti ad ammetterlo è probabile di sì. Secondo uno studio, effettuato all'Università di Duisburg-Essen dall'esperta in psicologia sociale Jessica Szczuka e dalla collega Nicole Krämer, oltre il 40 per cento degli uomini acquisterebbe un automa del sesso ora o entro i prossimi cinque anni. L'indagine è stata presentata poco prima di Natale a Londra in occasione del secondo congresso internazionale «Love and sex with robots» ed è stata condotta con un questionario on line su 263 maschi. Aveva lo scopo, spiega Szczuka, «di capire i motivi alla base dell'acquisto di androidi concepiti per l'intrattenimento sessuale». Ne è scaturito un quadro per certi versi inaspettato in cui emerge, dice la studiosa, «che l'intenzione di acquisto non è legata alla situazione sentimentale o all'insoddisfazione sessuale, dimostrando che il profilo del potenziale consumatore di un robot di questo tipo non corrisponde a quella del *single* solitario».

Insomma, i possibili acquirenti di robot del sesso potrebbero essere molti di più di quanto ci si aspetterebbe, anche con una normale vita di coppia. Chi non comprerebbe mai una di queste macchine, invece, lo spiega con un'avversione verso gli androidi e una loro eccessiva somiglianza agli esseri umani. (RiOl)

Mortalità infantile nel mondo

Ha luci e ombre l'ultima analisi globale e nazionale della mortalità infantile nel mondo, presentata su «The Lancet» da Li Liu, della Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health di Baltimora negli Stati Uniti. Il successo innegabile è che i decessi sotto i cinque anni continuano a diminuire molto, anche nei paesi meno ricchi (ma l'80 per cento si verifica ancora nell'Africa subsahariana e in Asia): dal 1990 al 2015 il calo è stato del 53 per cento, grazie soprattutto ai progressi contro polmonite, diarrea, malaria, morbillo e complicanze

del parto. Le cause principali dei 5,9 milioni di morti del 2015 sono le complicanze delle nascite premature e le polmoniti, e quasi la metà (2,7 milioni) avviene nel primo mese di vita.

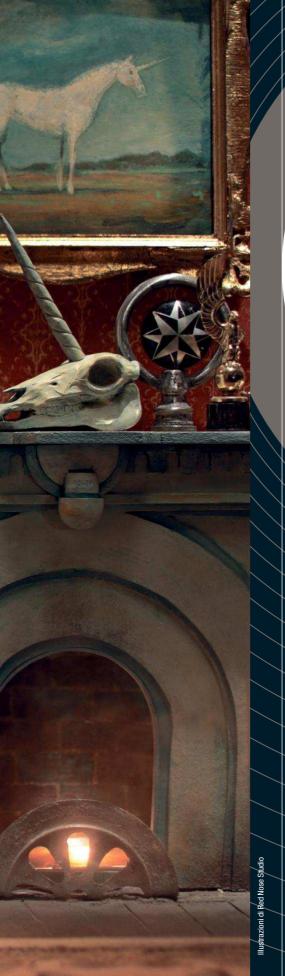
Il numero di decessi, tuttavia, resta ancora alto. Il calo, seppur consistente, non basta infatti a centrare l'obiettivo delle Nazioni Unite di una riduzione di due terzi. Soprattutto però, commenta Peter Byass, epidemiologo all'Università di Umeå, in Svezia, restano da migliorare molto i sistemi di raccolta dei dati, per avere le informazioni dettagliate necessarie a stabilire le iniziative locali più indicate: il cosiddetto «MDG zero», che si sarebbe dovuto fissare per rendere davvero misurabili tutti gli altri. (GiSa)

Il nuovo annuario ISPRA dei dati ambientali

Alle tante persone che per interesse personale o professionale, avrebbero bisogno di un'unica fonte da cui reperire tutti i dati aggiornati sulla situazione dell'ambiente italiano, farà piacere sapere che sul sito dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA) è disponibile la sedicesima edizione dell'*Annuario dei dati ambientali*. Si tratta di una enorme raccolta aggiornata al 2015 di informazioni generali, fonti legislative, considerazioni, dati pluriennali e infografiche divisa in 21 capitoli: dal rischio idrogeologico alla biosfera, dall'energia a ogni tipo di inquinamento (rumore ed elettrosmog compresi), dall'impatto dell'industria a quelli di agricoltura, trasporti, pesca, rifiuti e turismo.

Scorrendo l'annuario, si viene per esempio a sapere che abbiamo il record europeo di specie viventi, 61.800, dai protozoi in su, a cui negli ultimi 25 anni si sono aggiunte 504 specie «aliene». (Delle 1351 specie di vertebrati che ospitiamo, però, 576 sono in pericolo, più o meno grave, di scomparsa.) Oppure che dal 1850 a oggi in Italia la temperatura sulla terraferma è cresciuta di 1,53°C, contro 1,23°C globali, tanto che nel 2015 ci sono state 26 notti tropicali (sempre sopra i 20°C) in più rispetto al 1961. O, ancora, che delle 900.000 frane avvenute nell'Unione Europea, 600.000 si sono verificate in Italia, e nel solo 2015 hanno causato 271 interruzioni a strade e ferrovie e 12 morti. (AlSa)

Camazine Scott/Getty Images (*virus vaiolo*); Giovanni Isolino/AFP/Getty Images (*frana*); Xaume Olleros/Anadolu Agency/Getty Images (*bambino*)

Illustrazioni di Red Nose Studio

CONOSCENZA

5 cose che sappiamo essere vere

Un compendio di fatti irrefutabili per questi tempi gonfi di chiacchiere

Le verità scientifiche, a qualche livello, sono sempre provvisorie. Una volta credevamo che i continenti fossero fissi sulla superficie terrestre; oggi sappiamo che si spostano. Credevamo che l'universo fosse statico; sappiamo che si espande. Pensavamo che la margarina fosse più sana del burro e che la terapia ormonale sostitutiva fosse giusta per tante donne in menopausa; ma ora abbiamo capito che non è così.

IN BREVE

Come talvolta accade, la ridotta ma rumorosa schiera di coloro che rifiutano di accettare la posizione degli scienziati su certe questioni tende ad alzare ancora la voce.
Nell'era della «post-verità», abbiamo pensato che fosse il momento giusto per esporre, in modo chiaro e deciso, le buone ragioni di alcune ben stabilite – ma, in certi circoli, stranamente ancora contestate – verità scientifiche.
Dall'evoluzione agli incontri con gli alieni, un rapido ripasso di alcuni argomenti spesso messi in discussione dai gruppi antiscientifici.

Tuttavia, se è vero che gli scienziati non sanno tutto, un sacco di cose le sanno. E specialmente in questa stagione politica è scoraggiante vedere quanta gente respinge, bizzarramente, alcune delle verità meglio fondate della scienza moderna.
Noi di solito raccontiamo ai lettori i più recenti progressi della ricerca scientifica e tecnologica, ma per una volta ci è sembrato appropriato fare un passo indietro e parlare di alcuni fatti che la scienza ha solidamente stabilito.
Su queste verità, che sono basate su prove verificabili, sono accettate da decenni e continuano a risultare sempre più decisamente assodate man mano che continuano ad accumularsi nuove prove, sostanzialmente non esiste alcun dibattito tra gli scienziati esperti in materia.
La ricerca psicologica ha mostrato che essere messi di fronte a prove schiaccianti può irrigidire ancora di più la posizione di coloro che negano la verità, quindi non pretendiamo che gli interventi che seguono basteranno a risolvere il problema. Però è nostro dovere, ci pare, far osservare che certe cose sono vere e basta, anche nel mondo in costante crescita ed evoluzione della scienza.

La redazione

MONSTERS, INC. – Yeti, Bigfoot, mostro di Lochness e compari non esistono. L'idea di grossi animali sconosciuti che scorrazzano nei boschi del Nord America, serpeggiano in gelidi laghi scozzesi o passeggiano sull'Himalaya è bizzarramente fascinosa. Prove però, zero.

L'unica spiegazione ragionevole della diversità della vita è l'evoluzione

di Michael Shermer

Il 14 gennaio 1844 Darwin scrisse una lettera all'amico Joseph Hooker, rievocando il giro del mondo che aveva compiuto sul brigantino *HMS Beagle*. Dopo cinque anni in mare, e sette di riflessioni sull'origine delle specie una volta tornato a casa, era giunto a una conclusione: «Alla fine, si è acceso un barlume di luce, e io sono quasi convinto (un'opinione opposta a quella che nutrivo all'inizio) che le specie non siano (è come confessare un omicidio) immutabili».

È come confessare un omicidio. Parole forti. Ma non c'è bisogno di chissà quale scienza – neanche di quella del grande naturalista inglese – per capire perché una teoria dell'origine delle specie per selezione naturale doveva rivelarsi tanto controversa. Se le nuove specie si creano in modo naturale – e non soprannaturale – che posto resta, allora, per Dio? Non stupisce che dopo un secolo e mezzo certi esponenti di varie fedi religiose continuino a vedere in questa teoria una tremenda minaccia. Ma in tutti questi anni gli scienziati hanno trovato tante di quelle prove a sostegno che sarebbe davvero stupefacente se dovesse rivelarsi falsa: sarebbe uno shock, come se crollasse la teoria che i microbi provocano malattie, o se gli astrofisici dovessero abbandonare il modello dell'universo nato dal big bang. Perché? Per la convergenza delle prove provenienti da molte diverse linee di indagine.

Per esempio: confrontando i dati provenienti da ricerche di genetica di popolazioni, geografia, ecologia, archeologia, antropologia fisica e linguistica, gli scienziati hanno scoperto che gli aborigeni australiani sono geneticamente imparentati più da vicino con gli abitanti dell'Asia meridionale che con i neri africani; il che ha senso, in una prospettiva evoluzionistica, perché l'andamento delle migrazioni degli esseri umani fuori dall'Africa li ha condotti prima in Asia e poi in Australia.

La coerenza delle tecniche di datazione è un altro elemento che rafforza la fiducia nella veridicità della teoria: le datazioni con uranio/piombo, rubidio/stronzio e potassio/argon sono tutte ragionevolmente concordi quando si determina l'età di rocce e fossili. Si tratta di stime, ma i margini di errore sono dell'ordine dell'1 per cento. Non è come se uno scienziato scoprisse che un ominide fossile risale a 1,2 milioni di anni fa e un altro scienziato a 10.000.

Non solo le datazioni sono coerenti, ma i fossili mostrano anche stadi intermedi, cosa che gli antievoluzionisti continuano a negare. Oggi dai fossili risultano almeno sei stadi intermedi dell'evoluzione delle balene, per esempio, e oltre una dozzina di ominini fossili, diversi dei quali devono essere intermedi rispetto all'uomo, visto che il ramo degli ominini si è separato da quello degli scimpanzé 6 milioni di anni fa. E gli strati geologici presentano costantemente la stessa sequenza di fossili. Trilobiti e mammiferi sono separati da molti milioni di anni, quindi trovare un cavallo fossile nello stesso strato geologico di una trilobite – o, per essere ancora più drastici, un ominino fossile nello stesso strato di un dinosauro – sarebbe problematico per la teoria dell'evoluzione. Ma non è mai accaduto.

Infine, ci sono le strutture vestigiali, segni e residui della storia evolutiva. *Pachyrhachis problematicus*, un serpente del Cretaceo, aveva ridotti arti posteriori, ormai scomparsi nella maggior parte dei serpenti odierni. Le attuali balene conservano una ridotta pelvi, per le zampe posteriori dei mammiferi terrestri da cui discendono. E gli esseri umani, ovviamente, sono pieni di strutture vestigiali inutili – segni distintivi delle nostre ascendenze evolutive – come denti del giudizio, capezzoli maschili, peli corporei, appendice e coccige.

Come osservò il grande genetista e teorico dell'evoluzione Theodosius Dobzhansky, «Nulla ha senso in biologia, se non alla luce dell'evoluzione».

Michael Shermer pubblica la rivista «Skeptic», cura una rubrica mensile per «Scientific American» ed è *presidential fellow* della Chapman University. Il suo libro più recente si intitola *The Moral Arc*.

GLI OGM NON FANNO PAURA – L'espressione «cibo Frankenstein» suona terrificante, ma gli organismi geneticamente modificati, in moltissimi esperimenti, non sono mai risultati pericolosi.

UNA SCIOCCHEZZA AL 100% – No, non è vero che usiamo solo il 10 per cento delle nostre capacità cerebrali. Nessuno sa da dove viene, ma non è un fatto, è una sciocchezza.

L'omeopatia non ha alcuna base scientifica

di Harriett Hall

L'omeopatia è una pratica che sostiene di curare le malattie con dosi minime di sostanze che in persone sane produrrebbero i sintomi di quelle stesse malattie. Si basa sul pensiero ascientifico di un solo individuo, il medico tedesco Samuel Hahnemann, che l'ha inventata all'inizio dell'Ottocento. Non solo l'omeopatia non funziona; non c'è modo che possa funzionare. Non è compatibile con le nostre più basilari conoscenze di fisica, chimica e biologia. Nel suo saggio *Homeopathy and Its Kindred Delusions*, Oliver Wendell Holmes la demolì completamente nel 1842, e sarebbe stato costernato all'idea che qualcuno possa crederci nel 2016.

Pochi di coloro che usano l'omeopatia si sono mai curati di informarsi su ciò che stanno prendendo o sulle strambe teorie che ci sono dietro. Il modo più semplice di spiegare la teoria omeopatica è con un esempio: se il caffè vi tiene svegli, il caffè diluito vi farà dormire, e più è diluito più l'effetto è forte. Se, a forza di diluirlo, non rimane più neppure una molecola di caffè, sarà più forte ancora. (In qualche modo l'acqua si ricorda del caffè che non c'è più.) Se poi mettiamo una goccia d'acqua senza caffè su una pillolina di zucchero e la lasciamo evaporare, il ricordo del caffè si trasferirà alla pillola, e la pillola allevierà l'insonnia.

È difficile pensare che qualcuno compri un farmaco che non contiene nessuna traccia di principio attivo, ma lo fanno tanti. Un prodotto chiamato Oscillococcinium viene venduto in gran parte delle farmacie a clienti che sperano di alleviare i sintomi dell'influenza e del raffreddore. Il nome è quello dei batteri oscillanti che un medico francese, Joseph Roy, pensò di vedere nel sangue di vittime dell'influenza e nel fegato d'anatra: non li ha mai visti nessun altro. La confezione dice che l'ingrediente attivo è *Anas barbarie* 200 CK HPUS. Cioè anatra muschiata (cuore e fegato), che hanno diluito 1:100, e poi hanno ripetuto l'operazione 200 volte, ogni volta sottoponendo la soluzione a «succussione» (cioè scossa, non mescolata). Basta studiare un po' di chimica e conoscere il numero di Avogadro per calcolare che alla 13ª diluizione la probabilità che rimanga anche solo una molecola dell'anatra è solo del 50 per cento, e alla 200ª diluizione l'anatra non c'è più da un pezzo. Resta il pollo.

I metodi di prescrizione dell'omeopatia sono incredibilmente futili. Fanno una sfilza di domande irrilevanti (Di che colore hai gli occhi? che cibi non ti piacciono, di che cosa hai paura?). Poi consultano due libri. Il primo è un *Repertorio*, che elenca i rimedi per ogni possibile sintomo, per esempio chiaroveggenza (ebbene sì, sarebbe un sintomo), carie dentali o sentirsi «lacrimevole». Il secondo è un elenco di *Materia Medica* che indica i sintomi associati a ciascun rimedio: «so-

Harriet Hall, medico di famiglia in pensione, scrive di medicina, medicine alternative, scienza, ciarlataneria e pensiero critico. È tra i fondatori e redattrice del blog «Science-Based Medicine», e fa parte del Committee for Skeptical Inquiry e del consiglio direttivo della Society for Science-Based Medicine.

QUESTA STORIA FA ACQUA – Bere otto bicchieri d'acqua al giorno non serve. Certo, bisogna sostituire l'acqua persa con urina e sudore, ma il cibo ne fornisce un po', e comunque non c'è una dose fissa.

COSTA CARO, E VA DRITTO NEL WC – A meno di non soffrire di carenze o non avere accesso a cibo sano, i supplementi vitaminici sono in gran parte tempo e denaro sprecati.

gnare rapinatori» è associato al sale da cucina! Sì, il sale da cucina diluito, e praticamente ogni altra cosa, può essere un rimedio.
Tra i miei preferiti: muro di Berlino, luce d'eclisse lunare, cerume di cane e polo sud di magnete. È assurdo, ma si stima che cinque milioni di adulti e un milione di bambini assumano rimedi omeopatici ogni anno nei soli Stati Uniti, per la maggior parte autoprescritti e acquistati in farmacia. Certo, ci sono studi pubblicati che sostengono che l'omeopatia funziona, ma si può trovare uno studio a sostegno di qualunque cosa, o quasi; però le rassegne scientificamente rigorose dell'intero corpus delle ricerche hanno costantemente concluso che non funziona meglio di un placebo.
Come hanno scritto Edzard Ernst, professore di medicina complementare all'Università di Exeter, nel Regno Unito, e il suo coautore Simon Singh, «l'evidenza indica che c'è un settore fasullo che offre ai pazienti nulla più che fantasticherie». La FDA consente la vendita dei rimedi omeopatici in base a una clausola che li esenta dal dimostrarsi efficaci, ma sta considerando la possibilità di modificare le regole. Io vorrei che rendessero obbligatoria un'etichetta che dica: «Non contiene ingredienti attivi. Utilizzabile solo per intrattenimento».
La persistenza dell'omeopatia è una dimostrazione dell'incapacità di pensiero critico del pubblico. C'è chi si è rivolto all'omeopatia invece di assumere farmaci efficaci, vaccinarsi o fare profilassi contro la malaria. C'è chi è morto. L'omeopatia era una sciocchezza nel 1842, e una sciocchezza rimane al giorno d'oggi.

Cambiamento climatico: le teorie del complotto sono ridicole

di Ray Pierrehumbert

Mi lascia sempre perplesso che qualcuno si sia convinto che il vasto consenso scientifico sul riscaldamento globale antropogenico sia un grande complotto. Se fosse così, come complotto è straordinario: copre quasi due secoli e coinvolge scienziati di decine e decine di paesi. Le basi per capire la temperatura del pianeta cominciò a porle negli anni venti dell'Ottocento Joseph Fourier, che stabilì che la temperatura di un pianeta è determinata dall'equilibrio tra l'energia che riceve dal Sole e la radiazione infrarossa che riemette nello spazio. Una determinazione quantitativa dell'idea si ebbe poi con lo sviluppo, a metà Ottocento, della teoria della radiazione di corpo nero da parte di Ludwig Boltzmann e Gustav Kirchhoff.
Fu John Tyndall a introdurre nel quadro l'anidride carbonica verso la fine del XIX secolo, mostrando che intrappola la radiazione infrarossa; e poco dopo il chimico Svante Arrhenius mise insieme il tutto. Il XX secolo ha poi visto molti altri sviluppi, culminati in una teoria che tiene conto dei feedback sia dell'anidride carbonica che del vapor acqueo, elaborata negli anni sessanta e settanta da Syukuro Manabe. Molte cose le abbiamo approfondite ancora, negli anni seguenti, ma Manabe aveva sostanzialmente visto giusto. La nostra comprensione dei rapporti tra gas serra e riscaldamento globale poggia sulle stesse basi di cose come missili a ricerca di calore, satelliti meteorologici e telecomandi a raggi infrarossi. Se è un complotto, deve essere veramente molto grosso per aver falsificato tutto questo.
E ancora più grosso dovrebbe essere per falsificare i mutamenti dei climi previsti dalla teoria e osservati dagli scienziati – l'aumento delle temperature medie globali, l'innalzamento del livello dei mari, la perdita di ghiacci artici e antartici, la fusione dei ghiacciai, l'aumento di intensità e durata delle ondate di calore e tante altre cose. E i congiurati avrebbero dovuto falsificare anche tutti i dati sui climi del passato, che ci dicono che non c'è meccanismo che possa magicamente salvarci dagli effetti ormai assodati dell'azione concertata di anidride carbonica e vapore acqueo. E dovrebbero falsificare le osservazioni oceaniche che ci dicono che le acque subsuperficiali degli oceani si stanno riscaldando, il che prova che l'energia che sta riscaldando la superficie del pianeta non può venire dagli oceani. (L'energia si conserva, quindi se fossero gli oceani a causare il riscaldamento della superficie dovrebbero raffreddarsi.) E i dati sul bilancio globale del carbonio e su quello dei suoi isotopi, che provano che l'anidride carbonica che si sta accumulando nell'atmosfera viene davvero da deforestazione e uso dei combustibili fossili. E si dovrebbe falsificare, ancora, l'osservata coincidenza tra raffreddamento della stratosfera e riscaldamento della troposfera, che è caratteristica dell'azione dell'anidride carbonica e altri gas serra a lunga permanenza atmosferica.
La scienza premia chi rovescia i vecchi dogmi, quindi che la teoria base del riscaldamento globale abbia superato tutte le sfide è molto significativo. Il riscaldamento globale è un problema, e lo abbiamo causato noi. Questo è e resta vero. Non c'è spazio, in un discorso onesto e ragionevole, per mettere in discussione l'esistenza stessa del problema.

Ray Pierrehumbert è il titolare della cattedra di fisica intitolata a Edmond Halley dell'Università di Oxford.

NON SPORGERTI O CADI DI SOTTO – No, stiamo scherzando. La Terra non è piatta. Lo sapeva, a suo tempo, Cristoforo Colombo. E lo sapete anche voi. Beh, insomma, quasi tutti.

NIENTE PASTI GRATIS – Moto perpetuo ed energia a volontà sarebbero una gran bella cosa. Ma la termodinamica dice che non si può, e la legge è legge.

I vaccini non causano l'autismo

di Paul Offit

Sono passati quasi vent'anni da quando un lavoro pubblicato su «Lancet» avanzò il sospetto che i vaccini provochino l'autismo. Da allora, è stato smentito da decine di studi, e l'articolo originale è stato ritrattato. Il denaro e il tempo dedicati studiare l'ipotesi di un rapporto tra vaccini e autismo sono stati in gran parte ben spesi. In primo luogo, i media hanno smesso di presentare la cosa come se ci fossero due posizioni equivalenti, mentre una sola è sostenuta dalla scienza. In secondo luogo, la maggior parte dei genitori non pensa più che i vaccini provochino autismo.

Un recente studio ha mostrato che l'85 per cento dei genitori di bambini autistici non crede che la causa siano i vaccini. Purtroppo, malgrado la montagna di prove che smentiscono l'associazione, un piccolo gruppo di genitori continua a credere che i vaccini possano provocare l'autismo. E non fanno vaccinare i figli, esponendoli a gravi rischi e indebolendo l'«immunità di gregge», che serve a contenere i focolai epidemici.

Ci sono diverse ragioni di questa ostinazione. Una è che le cause dell'autismo restano ignote: la stessa situazione del diabete nell'Ottocento, quando nessuno ne conosceva le origini o sapeva curarlo. All'epoca furono proposte cause assurde e terapie eroiche. Poi, nel 1921 fu scoperta l'insulina, e tutte le false credenze svanirono. Finché non emergeranno una causa chiara e una cura per l'autismo, sarà difficile accantonare per sempre l'ipotesi che incolpa i vaccini.

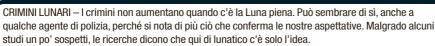
L'idea che i vaccini causino l'autismo, inoltre, è consolante, certo più degli studi che rivelano una base genetica. Se l'autismo è provocato da eventi che avvengono dopo la nascita, i genitori possono esercitare qualche forma di controllo; se è un disturbo genetico, no. E piace a tutti avere un colpevole contro cui puntare il dito, una forza malvagia da accusare di produrre l'autismo. I complottisti sostengono che il solo motivo per cui gli studi hanno mostrato che i vaccini non danno autismo è che c'è una larga cospirazione per nascondere la verità. Anche se a crederlo è solo una piccola parte dei genitori, le loro voci sono sproporzionatamente rappresentate su Internet.

Infine, spesso lo sviluppo dei bambini autistici appare normale ai genitori fino a circa 12 mesi di età. Poi, dopo aver ricevuto una serie di vaccinazioni, il piccolo non raggiunge più una serie di tappe tipiche del secondo anno di vita. Tuttavia vari studi in cui sono stati esaminati video girati durante il primo anno di vita mostrano che già allora quei bambini non si stavano sviluppando normalmente.

L'aspetto più incoraggiante della controversia su vaccini e autismo è che tanti studiosi, medici clinici, responsabili di sanità pubblica e genitori sono scesi in campo a rappresentare nei media la scienza, che ha assolto i vaccini. E grazie a loro il vento è cambiato. Adesso si sentono anche le voci dei genitori che protestano perché altri, scegliendo di non vaccinare i propri figli, mettono a rischio tutti i bambini.

Il clamore a favore dei vaccini si è fatto ancora più pressante, negli Stati Uniti, in seguito all'episodio di morbillo del 2015, partito da un parco della Disney in California meridionale e allargatosi a 189 casi, in maggioranza bambini, in 24 Stati e nel District of Columbia. Purtroppo, per far capire le cose alla gente niente è più efficace dei virus stessi. Ogni volta, però, a soffrire della nostra ignoranza sono i bambini.

Paul Offit è professore di pediatria nella Divisione malattie infettive e direttore del Vaccine Education Center dell'Ospedale pediatrico di Philadelphia.

CRIMINI LUNARI – I crimini non aumentano quando c'è la Luna piena. Può sembrare di sì, anche a qualche agente di polizia, perché si nota di più ciò che conferma le nostre aspettative. Malgrado alcuni studi un po' sospetti, le ricerche dicono che qui di lunatico c'è solo l'idea.

RATATOUILLE – Curare il
Gli esperimenti sugli animali
dicono che sta arrivando una

Non esistono prove credibili di visite aliene

di Seth Shostak

Milioni di persone negli Stati Uniti sostengono di essere state rapite dagli alieni, diceva un articolo del «Washington Post» del 2013. Un bottino di tutto rispetto, insomma. Eppure, che fa il governo? Poco e niente. E questo dovrebbe dirvi qualcosa. O i federali non credono a quelle persone, o sono parte del problema.

Molti credono nella seconda ipotesi. Dicono che il governo sa che gli alieni ci sono, ma tiene nascoste le prove, nella famigerata Area 51 o in qualche altro bunker super-segreto.

Però, un momento. A meno che gli alieni non abbiano un debole per gli Stati Uniti, le percentuali di rapimenti nel resto mondo non dovrebbero essere troppo diverse. Se c'è in corso un programma «alieni senza frontiere», nel mondo ci sono milioni di persone che sono state catturate dagli omini verdi. Penso che alle Nazioni Unite se ne sarebbero accorti. Penso che ve ne sareste accorti anche voi.

Naturalmente, i rapimenti sono solo una parte del cosiddetto «fenomeno UFO». Le prove sono soprattutto avvistamenti: testimonianze oculari, foto e video, la maggior parte dei quali si spiega come aerei, razzi, palloni, pianeti particolarmente visibili oppure, occasionalmente, burle. Qualcuno resta inspiegato, ma questo vuol dire solo che non è stato spiegato, non che si trattasse di dischi volanti, a prescindere dalle convinzioni di chi ne riferisce. Continua a non esserci alcuna prova scientificamente convalidata che gli extraterrestri siano stati qui, né in tempi recenti né nel passato remoto. Piramidi, allineamenti di Nazca in Perù e tutti gli altri artefatti che sono stati ascritti ad antichi astronauti possono essere direttamente spiegati con l'attività umana.

Pochi scienziati o curatori di musei trovano anche solo plausibile l'idea che qualcuno sia venuto a trovarci. Anche lasciando da parte le formidabili difficoltà tecniche del viaggio interstellare, proviamo a chiederci: perché adesso? *Homo sapiens* ha cominciato a trasmettere la sua presenza nell'universo solo dall'avvento della televisione e del radar. A meno che gli extraterrestri non arrivino da un sistema molto vicino, non c'è stato neanche il tempo perché venissero a sapere della nostra esistenza e volassero fino alla Terra.

Persino se potessero viaggiare alla velocità della luce (e non possono), dovrebbero trovarsi entro un raggio di 35 anni luce circa da noi, e mica ce ne sono poi tante di stelle così vicine. E poi, viaggiare nello spazio ad alta velocità richiede una quantità enorme di energia. Voi la paghereste una bolletta astronomica giusto per andare a pesca di ominidi, solo per sport e per di più liberando le prede?

Malgrado tutto questo, sono decenni che i sondaggi mostrano che grosso modo un terzo della popolazione statunitense crede che il nostro mondo ospiti visitatori cosmici. Se, malgrado la mancanza di valide prove, qualcuno proprio vuole crederci, dovrà ammettere anche che come ospiti sono perfetti. Non ci uccidono, non fomentano disordini, non rubano l'argenteria. L'incidente di Roswell risale a quasi settant'anni fa. Se da allora qualche alieno è passato da queste parti, bisogna dargli una medaglia per buona condotta.

Seth Shostak è *senior astronomer* presso il SETI Institute, organismo senza fini di lucro che studia la natura della vita oltre la Terra. È inoltre fra i conduttori del programma radiofonico settimanale «Big Picture Science».

cancro nei roditori non è come curarlo nell'uomo. hanno condotto a molte nuove terapie. Ma se vi nuova cura che funziona nei topi, gatta ci cova.

PER APPROFONDIRE

Perché l'evoluzione è vera. Jerry A. Coyne, Codice Edizioni, Torino, 2011.

Global Weirdness. Climate Central, Pantheon, 2012.

The Panic Virus: The True Story behind the Vaccine-Autism Controversy. Seth Mnookin, Simon & Schuster, 2012.

How UFOs Conquered the World: The History of a Modern Myth. David Clarke, Aurum Press, 2015.

ASTRONOMIA

I pianeti nei nostri dintorni non si formarono lentamente come si credeva un tempo, ma in una rapida confusione di urti ad alta energia, distruzioni e ricostruzioni

di Linda T. Elkins-Tanton

Mondo metallico.
L'asteroide Psyche, qui mostrato in una illustrazione, potrebbe essere il nucleo di ferro e nichel di un antico corpo precursore di un pianeta.

L'AUTOSCONTRO DEL SISTEMA SOLARE

Linda T. Elkins-Tanton, geologa planetaria specializzata nell'evoluzione dei pianeti di tipo terrestre, dirige la School of Earth and Space Exploration dell'Arizona State University.

Stavo uscendo da un'aula del Massachusetts Institute of Technology (MIT), dove avevo parlato con gli studenti di come si formano i pianeti, quando ero stato fermato dal mio collega Ben Weiss. Studiava il magnetismo delle rocce spaziali, in quel momento era entusiasta per qualcosa e mi aveva portato nel suo studio per mostrarmi nuovi dati su una di quelle rocce, un meteorite di nome Allende. Erano informazioni in grado di cambiare quasi tutto quello che i geologi planetari sanno sul sistema solare.

Era il 2009, e quell'inverno il gruppo di ricerca di Weiss aveva accertato che Allende – precipitato rovente sulla Terra nel 1969, in Messico, e composto di materia fra la più antica del sistema solare – conteneva nella propria roccia segni di un antico campo magnetico. Era una scoperta sorprendente. Secondo gli astronomi, questo tipo di campi era generato solo dalla dinamo magnetica di metalli liquidi estremamente caldi che si trovano all'interno di un pianeta, allo stesso modo in cui il campo magnetico terrestre è generato dal ferro liquido che ruota nel nucleo del pianeta. Si riteneva però che Allende fosse un frammento di un planetesimo – un futuro pianeta in formazione – che doveva essere appena tiepido, e quindi non sarebbe mai dovuto diventare tanto caldo da fondere il metallo che conteneva. Allora, si chiedeva Weiss, come aveva fatto questo antico pezzo del nostro sistema solare a raggiungere la temperatura per realizzare una dinamo magnetica?

I miei studenti mi avevano appena tempestato di domande sull'evoluzione planetaria, spingendomi a ripensare ad alcune cose che si danno per scontate, quindi per puro caso avevo in mente l'accenno di una nuova idea che poteva contribuire a rispondere alla perplessità di Weiss. Cominciai a buttarla giù sulla lavagna bianca del suo studio.

Da tempo sappiamo che i planetesimi contengono atomi instabili di alluminio dalla vita breve, che irradiano l'energia nucleare in eccesso. Questo isotopo radioattivo è detto ^{26}Al e l'energia in eccesso del suo decadimento avrebbe potuto riscaldare i planetesimi. È possibile che il calore derivante da ^{26}Al nel corpo da cui si era staccato Allende fosse così elevato che l'oggetto si era praticamente fuso a partire dall'interno. Il metallo si sarebbe separato dai silicati nel resto della roccia e avrebbe formato un nucleo liquido posto in rotazione dalla rotazione del planetesimo, producendo una dinamo magnetica. Nel frattempo l'esterno del pianetino sarebbe stato raffreddato dal gelo spaziale, e a questa crosta non fusa si sarebbero aggiunte rocce e polvere fredde del disco primigenio del sistema solare.

L'idea che i componenti primitivi del sistema solare contenessero tanta energia non era quella che avevo studiato a scuola. Ancora oggi, spesso i libri di testo dicono che il sistema solare si formò in modo pacato e solenne. Si pensava che questa formazione, 4,567 miliardi di anni fa, fosse stata un evento ordinato e civile, come un minuetto: gas e polvere di una nube molecolare ruotavano a formare un disco attorno a una giovane stella in crescita, per poi aggregarsi in tanti piccoli macigni, ognuno dei quali crebbe fino a un diametro di decine e centinaia di chilometri. Questi planetesimi, a loro volta, cozzarono tra di loro formando corpi più grandi, ciascuno forse delle dimensioni di Marte, detti embrioni planetari. Solo a quel punto cominciò ad aumentare la tempe-

IN BREVE

Una crescita lenta e progressiva, da particelle minuscole a grandi pianeti, era il modo in cui gli scienziati concepivano l'evoluzione del sistema solare ancora cinque anni fa.

Recenti analisi di meteoriti, residui della nascita del sistema solare, implicano invece che il sistema nacque da collisioni caotiche, liquefazioni e ricostruzioni.

Per verificare l'idea gli scienziati vogliono inviare una sonda su Psyche, uno strano asteroide fatto di metallo che potrebbe essere un resto nudo del nucleo primordiale di un pianeta.

Componenti del sistema solare

I pianeti come la Terra e i suoi vicini cominciarono a formarsi quando la nube di gas e polvere attorno al nostro Sole generò ammassi detti planetesimi (*in alto*). Un tempo questi corpi erano ritenuti tranquilli semi di pianeti, mentre ora i ricercatori pensano che urtandosi avviarono i processi ad alta energia che avrebbero portato ai veri pianeti (*in basso*).

Dentro un planetesimo

I grani metallici in uno strato esterno fuso puntano nella stessa direzione del campo magnetico e mantengono questo orientamento dopo che la dinamo si è fermata e lo strato si è raffreddato.

Planetesimo indifferenziato
Queste rocce avevano un diametro compreso fra i dieci e qualche centinaio di chilometri e contenevano elementi radioattivi che ne riscaldavano l'interno. Avevano una struttura «a cipolla».

Planetesimi differenziati
Gli elementi radioattivi hanno generato altro calore e il corpo si è fuso dall'interno. I metalli ferro e nichel, più densi, sprofondano. A volte rimane solida una crosta esterna. Tutti i planetesimi differenziati hanno un nucleo di metallo liquido.

Formazione del campo magnetico
Il metallo in movimento può diventare una dinamo magnetica, e ciò accade quando i planetesimi e i loro nuclei liquidi cominciano a ruotare. Questi nuclei generarono campi magnetici che puntavano in una direzione ben precisa, come quello terrestre punta verso nord.

Dai planetesimi ai pianeti

Accrescimento
Agli inizi del sistema solare le particelle di polvere si urtavano riunendosi in planetesimi, alcuni con diametro di qualche centinaio di chilometri. Nel rapido giro di 500.000 anni, molti formarono interni parzialmente o completamente differenziati.

Impatti violenti
In questa fase iniziale della formazione del sistema solare, i fitti planetesimi spesso si urtavano e formavano corpi più grandi, che poi a volte si frantumavano di nuovo quando venivano colpiti.

Embrioni
Dopo molte collisioni alcuni planetesimi raggiunsero le dimensioni – diametro di varie migliaia di chilometri – per formare embrioni planetari, forse di dimensioni simili a Marte. Il loro interno si differenziò rapidamente con gli impatti, come per i planetesimi. La superficie degli embrioni era forse punteggiata di elementi simili a quelli dei pianeti, come pozze d'acqua o di magma.

Oggi un asteroide chiamato Psyche potrebbe essere il resto nudo del nucleo metallico di un planetesimo, spogliato da queste collisioni. Psyche potrebbe essere l'obiettivo di una missione spaziale.

Psyche

Crosta
Magma
Mantello
Nucleo

Pianeti
Quando gli embrioni erano grandi a sufficienza, la loro gravità perturbava le orbite del materiale che li circondava. A volte questo faceva sì che fossero colpiti da detriti, e gli impatti creavano oceani di magma, liberando gas che formavano un'atmosfera. Altre volte l'accresciuta gravità scagliava via corpi vicini. Questi corpi più grandi, la cui traiettoria è sgombra da altro materiale, ottengono l'etichetta di «pianeta».

Illustrazione di Jen Christiansen

ratura di questo vivaio spaziale. Questi embrioni, che aumentando di dimensioni avevano acquisito una gravità sufficientemente intensa da pulire le loro orbite dai detriti circostanti, collidevano e crescevano a formare pianeti. Alla fine i componenti di questi corpi si separarono nelle strutture a noi familiari: un nucleo metallico ribollente e un mantello di silicati: erano luoghi caldissimi, convulsamente vulcanici, diametralmente opposti alla vita.

Questa era la vecchia storia, ma quando Weiss e io avevamo cominciato a riflettere su Allende, anche altri dati indicavano che il sistema solare delle origini in realtà fu un luogo di cambiamenti rapidi e violenti. Ormai quel passaggio pacato dalla polvere alle rocce, ai planetesimi, agli embrioni e ai pianeti è superato. La reale formazione dei planetesimi, che una volta si riteneva fosse durata centinaia di milioni di anni, si svolse in appena 3 milioni di anni circa. In termini umani, se diciamo che l'età del nostro sistema planetario è di un giorno, questo accrescimento avvenne nel primissimo minuto. Grazie a una maggiore energia nei minuscoli componenti iniziali – energia come quella fornita dal riscaldamento dell'alluminio e dalle prime collisioni – quegli stessi componenti non dovettero attendere e crescere prima di sviluppare diversi strati. Planetesimi relativamente piccoli potevano ospitare processi che in precedenza si ritenevano limitati ai pianeti, da fusione ed emissione di gas alla creazione di dinamo magnetiche e al vulcanismo.

E in questo sistema gli oggetti non crescevano semplicemente da piccolo a grande. Spesso oggetti enormi andavano in frantumi. Se in quei primi anni si erano formate sfere delle dimensioni di pianeti, grazie a collisioni di oggetti più piccoli dotati di energia elevata, poi urti e colpi di striscio fra i planetesimi a volte ne staccavano pezzi o le distruggevano. I frammenti potevano a loro volta arrivare su altre sfere, ingrandendole: in 10 milioni di anni o meno si potevano formare pianeti, andare in pezzi e riformarsi da capo.

Quando i dati sperimentali hanno mostrato in modo chiaro che il sistema solare si era formato molto più rapidamente di quanto indicato dagli scenari classici, i ricercatori hanno dovuto spiegare come avessero fatto i pianeti ad apparire tanto presto, il che ha chiamato in causa i teorici

Il disco sparito

I planetologi come me hanno ricostruito questa nuova descrizione circense del giovane sistema solare in piena attività aiutandosi con nuovi metodi per calcolare le età dei meteoriti, e anche delle nubi di polvere planetaria – simili al nostro sistema primordiale – in altre parti del cosmo.

Nel corso degli ultimi 10-15 anni sono stati sviluppati strumenti in grado di misurare gli elementi che formano rocce spaziali fino a poche parti per milione, e anche meno. Dato che abbiamo le idee chiare sul tempo necessario agli elementi radioattivi per decadere negli elementi risultanti, queste misurazioni ci permettono di datare quando si formarono e modificarono pianeti e planetesimi da cui si staccarono questi frammenti. Gruppi di ricerca di tutto il mondo – e in particolare Alex Halliday, già del Politecnico federale (ETH) di Zurigo e adesso all'Università di Oxford; Thorsten Kleine, dell'Università di Münster, in Germania; Stein Jacobsen, della Harvard University; Mary Horan e Rick Carlson, entrambi della Carnegie Institution for Science; e Richard Walker, dell'Università del Maryland – hanno effettuato misurazioni su raccolte di meteoriti. Questo lavoro ha chiarito che i planetesimi si formarono nei primissimi milioni di anni dopo che si cominciò a raffreddare il disco di polvere, che molti dei nostri pianeti di tipo terrestre potrebbero essersi formati entro i primi 10 milioni di anni e che persino buona parte della Terra probabilmente si formò e differenziò in un nucleo e un mantello in poche decine di milioni di anni.

Altre direzioni di ricerca hanno portato a risultati simili: via via che i telescopi migliorano, possiamo vedere la crescita delle stelle giovani in altre parti della nostra galassia, la Via Lattea, e in certi casi possiamo osservare i dischi di polvere e gas da cui si formano una stella e i suoi pianeti. Stimando l'età delle stelle attorno a cui orbitano pianeti e confrontando queste misurazioni con le stime riguardanti stelle circondate solo da dischi di polvere e gas, circa dieci anni fa si è determinato che questi dischi durano, in media, appena 3 milioni di anni.

I planetesimi, quindi, hanno in media solo 3 milioni di anni per crescere. A quel punto polvere e gas che non si sono accumulati sulle rocce si perdono sulla stella o nello spazio, e non rimane materiale disponibile per costruire il pianeta. Se pensiamo che i teorici ritenevano che l'accrescimento durasse centinaia di milioni di anni, è una bella accelerazione!

Ulteriori prove di questa cronologia giungono dall'uso del decadimento radioattivo come un orologio che «ticchetta» a ritmo regolare via via che un elemento decade in un altro. I nuovi strumenti hanno permesso a gruppi di ricerca europei e statunitensi di effettuare misurazioni precise di questi elementi, e quindi di capire da quanto era attivo l'orologio. I meteoriti caduti sulla Terra contengono questi elementi; per lo più sono frammenti di asteroidi, che a loro volta sono residui primitivi di planetesimi. (Alcuni altri meteoriti vengono dalla Luna, alcuni da Marte e altri da corpi non ancora identificati.)

Un isotopo radioattivo dell'afnio preferisce trovarsi nei silicati, come quelli del mantello terrestre, ma poi decade in un isotopo del tungsteno, che si unisce facilmente con i metalli che formano i nuclei planetari. Questo decadimento si verifica con un tasso regolare: metà dell'afnio diventa tungsteno in 9 milioni di anni. Questo metodo ci permette di datare la differenziazione metalli-silicati (nucleo-mantello) dei pianeti e dei planetesimi: la formazione del nucleo metallico preleva tungsteno dal mantello di silicati e lo trasferisce nel nucleo in crescita. L'afnio rimane tranquillamente nel mantello e continua a decadere in tungsteno, che poi non si muove dal mantello se non prosegue la formazione del nucleo. Quando viene misurato il rapporto fra afnio e tungsteno nei meteoriti, la quantità dell'isotopo del tungsteno ci dà il tempo dalla formazione del nucleo.

Queste misurazioni isotopiche di meteoriti ferrosi – molti dei quali presumibilmente provengono dai nuclei metallici dei planetesimi – mostrano che il corpo di cui facevano parte si era formato entro appena 500.000 anni dal momento in cui i primi solidi condensarono a partire dal nostro disco protoplanetario di polvere e gas: corrispondono ad appena dieci secondi del nostro immaginario sistema solare della durata di 24 ore.

Antico magnete. Un frammento del meteorite chiamato Allende (*foto in alto e spaccato in microfotografia*) reca tracce del magnetismo creato dai precursori dei pianeti.

Detlev van Ravenswaay/Science Source (*in alto*); Michael Abbey/Science Source (*in basso*)

Se i meteoriti di ferro sono frammenti del nucleo di planetesimi frantumati dagli impatti, allora nel corso di quel breve lasso di tempo questi planetesimi devono essersi formati, fusi e aver prodotto nuclei di ferro.

Scatto di crescita

Una volta che i dati sperimentali avevano mostrato chiaramente che il sistema solare si era formato molto più rapidamente di quanto dicessero gli scenari classici, i ricercatori che se ne occupavano dovevano spiegare come avessero fatto i pianeti a nascere tanto presto, il che chiama in causa i teorici. Come possono polvere e granelli con un diametro che va dai micrometri ai centimetri, tutti in orbita attorno al nostro giovane Sole, aggregarsi fino a formare corpi anche 10 milioni di volte più grandi (planetesimi di 100 chilometri) in appena 500.000 anni?

La risposta non è ovvia; secondo la fisica standard, piccoli granelli di polvere che collidono possono aderire facilmente grazie a forze elettromagnetiche, allo stesso modo in cui l'elettricità statica produce batuffoli di polvere nelle nostre case. L'energia assorbita in seguito alla compressione e alla perdita di porosità nel corso delle collisioni contribuisce a far sì che questi piccoli ammassi rimangano coesi anziché rimbalzare o andare in pezzi. Quando il grumo cresce, però, raggiunge la cosiddetta barriera del metro: prima ancora di avere un diametro di un metro, questi macigni in crescita diventano troppo grandi per poter essere tenuti insieme dalle forze elettromagnetiche e troppo piccoli affinché sia sufficiente l'attrazione gravitazionale. Impatti anche a velocità bassissime fanno sì che i conglomerati si distruggano anziché accrescersi. Eppure sappiamo che questi materiali devono essere in grado di crescere dal diametro di un metro fino alla dimensione di planetesimi: il pianeta su cui ci troviamo oggi ne è una testimonianza. Quindi deve essere in atto qualche altro meccanismo.

Sono state avanzate varie idee su come si verifichi la crescita oltre la barriera del metro. La maggior parte delle ipotesi implica una concentrazione di materiale nel disco protoplanetario provocata da vari tipi di turbolenza che avvicinerebbe le particelle. Queste forze a vortice potrebbero includere le cosiddette instabilità di Kelvin-Helmholtz, che si sviluppano fra gas e strato di polvere del disco e potrebbero comprimere in modo efficiente grandi quantità di materiale per formare corpi più grandi. Buona parte di questo lavoro è stata svolta da Anders Johansen, adesso all'Università di Lund, in Svezia. Hal Levison, del Southwest Research Institute, e Johansen hanno lavorato indipendentemente a un nuovo modello, il cosiddetto accrescimento a ciottoli. Secondo i suoi calcoli anche i frammenti più piccoli di polvere e altri materiali possono seguire gravitazionalmente varie orbite che li portano ad aggiungersi a un planetesimo in crescita, a velocità sufficiente per costruire questi corpi all'inizio della vita del sistema solare.

Fondersi in un congelatore

Nessuna pressione del genere avrebbe però portato i planetesimi a differenziarsi in mantelli e nuclei. Se si formarono dal materiale di un disco primordiale in cui metalli e silicati erano miscelati, solo temperature elevate e una fusione interna almeno parziale avrebbero permesso al metallo di sprofondare all'interno e di formare un nucleo. I calcoli mostrano che gli urti fra questi corpi relativamente piccoli non avrebbero fornito energia a sufficienza per farli fondere, e quindi rimaneva il dubbio sulla provenienza, all'interno dell'immenso congelatore dello spazio, di questa energia.

È qui che entrano in gioco le idee sull'alluminio radioattivo. Ogni volta che uno di questi atomi decade, cede una piccola quantità di calore; nel sistema solare delle origini queste minuscole entità, tutte insieme, avrebbero potuto formare una potente fonte di energia. Dato che l'alluminio è uno dei sei elementi più comuni nei materiali rocciosi (gli altri sono silicio, magnesio, ferro, ossigeno e calcio), ^{26}Al, che ha un'emivita di circa 700.000 anni, avrebbe potuto portare almeno alcuni dei planetesimi alla temperatura di fusione.

Ma che cosa gli avrebbe impedito di fonderli completamente, considerando che le nuove osservazioni suggeriscono chiaramente che almeno alcuni di questi germi di pianeti avevano croste non fuse all'esterno? Parte della risposta è data dalle dimensioni. Nel caso del planetesimo da cui si era originato Allende, per raggiungere la fusione il corpo roccioso doveva avere una massa tale che il suo interno producesse calore a una velocità maggiore di quella a cui il suo esterno irradiava calore. Un corpo più grande può raggiungere al suo interno una temperatura più elevata di uno più piccolo perché ha un volume, in cui si produce il calore, più grande a confronto con la superficie, che lo disperde. Ma per via della breve emivita di ^{26}Al questa crescita doveva essere rapida. Per trattenere calore in modo sufficiente a provocare le fusioni di cui possiamo osservare i segni, il planetesimo genitore di Allende doveva aver raggiunto 10 o più chilometri di raggio nel giro di circa 2 milioni di anni dopo che nel sistema solare erano comparsi i primi corpi solidi (l'equivalente dei primi 37 secondi del nostro sistema solare su una scala di 24 ore), e noi riteniamo che sia arrivato addirittura a 200 chilometri di raggio.

Si riteneva che i planetesimi si fossero fusi completamente op-

Accelerare la costruzione

Un tempo si riteneva che la formazione dei pianeti del sistema solare fosse stata un processo lento e costante durato 500 milioni di anni, a partire da circa 4,5 miliardi di anni fa (A). Nuovi indizi provenienti da meteoriti caduti sulla Terra, dal tempo di decadimento degli elementi radioattivi e dalle osservazioni della polvere attorno alle stelle indicano che il nostro sistema planetario – compresa la Terra nascente – ebbe inizio molto più rapidamente (B), nel giro di 3 milioni di anni, in un moto frenetico ad alta energia di urti e ricostruzioni protoplanetari.

Grafico di Jen Christiansen

pure fossero rimasti primitivi, ma Weiss e io proponevamo una situazione ibrida, in cui il materiale più primitivo del sistema solare racchiudeva un planetesimo il cui interno si era liquefatto, quindi una crosta esterna e un nucleo fuso. Questo ha senso perché il meteorite Allende – con le sue tracce di un campo magnetico provocato da un interno riscaldato – è formato solo di materiale primitivo e che non ha subito riscaldamento, quindi può provenire solo da una crosta esterna fredda. Il planetesimo genitore di Allende aveva mantenuto questa superficie primitiva non fusa perché lo aveva raffreddato il gelo dello spazio e perché via via aveva continuato ad aderirvi la polvere del freddo disco protoplanetario. Non modificata dal calore, la crosta era riuscita a mantenere tracce del campo magnetico prodotto dall'interno del planetesimo: il nucleo fuso e la sua dinamo magnetica.

Non siamo stati i primi a pensare a una differenziazione parziale. Il geologo John Wood disegnò a mano una struttura simile nella sua tesi di dottorato al MIT nel 1958, ma nessuno era stato così eretico da affermare che il più rappresentativo dei meteoriti primitivi non liquefatti, Allende, potesse essersi formato in questo modo o che il processo fosse comune, o addirittura tipico, ai primordi del sistema solare.

Ora sembra comune: sono state scoperte almeno altre quattro meteoriti derivanti da corpi che contenevano nel nucleo dinamo magnetiche. Allo stesso tempo sono state escluse altre possibili cause di magnetizzazione: Allende e i suoi simili non furono magnetizzati da un campo prodotto dal Sole, né dal disco di polvere stesso, né dagli sbuffi di breve durata attorno agli impatti. Se il sistema solare delle origini era davvero popolato da centinaia o addirittura migliaia di planetesimi differenziati, che sfrecciavano e generavano calore intenso e dinamo magnetiche come minuscole Terre, ciò implica che l'intero sistema neonato conteneva molto più calore di quanto i geologi avessero mai pensato.

Un campo affollato

Anche altre proposte hanno indebolito l'idea tradizionale di una crescita lineare dei pianeti, da piccoli a grandi. A lungo, per semplicità e per poter trattare la situazione numericamente, tutte le simulazioni della formazione dei pianeti davano per scontato che in ogni collisione di planetesimi tutto il materiale di entrambi i corpi che collidevano si unisse a formare un nuovo corpo più grande. Questa fusione si verificava addirittura quando i planetesimi si formavano a partire dalla polvere. Ma di recente Erik Asphaug,

della Arizona State University, ha introdotto nuovi approcci alla modellizzazione delle collisioni: Asphaug ha capito che alcune collisioni sono costruttive e producono corpi più grandi, mentre altri urti possono essere distruttivi e il corpo in arrivo strappa via materiale da quello colpito, continuando a portare devastazione altrove.

Solo verso i 10 milioni di anni di età i corpi iniziarono davvero a ingrandirsi e a rimanere grandi. Che cosa diede loro la stabilità necessaria per sopravvivere? Ancora una volta pare che la risposta venga dalle dimensioni. Via via che i planetesimi collidevano e formavano embrioni planetari più grandi, la loro massa e quindi la loro gravità aumentavano. L'intensità della gravità era abbastanza forte, al punto che quando l'orbita li portava vicino a un altro oggetto, quell'oggetto era attratto e incorporato dall'attrazione gravitazionale oppure scagliato via, modificandone l'orbita. Quindi questi pianeti in crescita cominciarono a ripulire le proprie orbite, che è proprio uno dei criteri per essere pianeti veri e propri. I corpi più piccoli avevano sempre meno rifugi in cui le loro orbite potessero rimanere stabili e indisturbate dai pianeti in crescita; la fascia degli asteroidi divenne uno dei pochi luoghi sicuri rimasti.

Volevamo esplorare un posto che potesse confermare o confutare certe ipotesi, e decidemmo che la destinazione migliore era un mondo fatto di metallo: l'asteroide Psyche. Non c'è nessun altro posto simile a questo, per lo meno non vicino a sufficienza per poterlo raggiungere in un tempo ragionevole

Missione verso un mondo metallico

Weiss, Asphaug, la sottoscritta e altri vorremmo capire come si sia giunti alla struttura e alla composizione del nostro pianeta a partire da questo ambiente ricco di energia e spesso caotico. Ma, nonostante la fantascienza dei film di successo o dei romanzi di Jules Verne, non possiamo dare un'occhiata adeguata al centro della Terra. È troppo profondo, e ci sono pressioni troppo alte per poterlo esaminare direttamente.

Forse però un certo asteroide, residuo di un antico planetesimo, potrebbe essere un sostituto adatto. Circa quattro anni fa io e vari colleghi abbiamo cominciato a progettare una missione spaziale per studiare questa possibilità. Ci siamo riuniti nella sala Left Field del Jet Propulsion Laboratory della NASA, che è un ambiente pensato apposta per stimolare la creatività: ha scaffali pieni di materiale per disegnare e costruire, come cartoncino, rotelle, fil di ferro, Lego, carta, pennarelli, gommapiuma. È un ottimo posto dove pensare a qualcosa di completamente nuovo, ed era proprio quello che cercavamo di fare. La nostra intenzione era esplorare un posto che potesse confermare o confutare certe ipotesi, e decidemmo che la destinazione migliore era un mondo fatto di metallo: l'asteroide Psyche.

Non c'è nessun altro posto simile a questo, per lo meno non vicino a sufficienza per poterlo raggiungere in un tempo ragionevole. Psyche è uno degli asteroidi più grandi, con un diametro di circa 200 chilometri, e si trova fra Marte e Giove. Tutte le misurazioni fisiche che abbiamo – ottenute grazie ai radiotelescopi che fanno rimbalzare onde radio sul corpo celeste – indicano che è composto quasi esclusivamente di ferro e nichel. Psyche sembra un nucleo di planetesimo denudato, un ultimo resto delle collisioni fugaci che devastarono i corpi del sistema solare delle origini. L'orientamento delle particelle di Psyche, come minuscoli aghi di bussole, potrebbe dirci se era dotato di una dinamo magnetica. Ci potrebbero anche essere residui del suo esterno roccioso che ci direbbero che aspetto aveva il mantello profondo dei planetesimi. Se ci furono impatti di superficie sul nudo metallo, potrebbero aver prodotto rupi metalliche ben definite che si solidificarono prima di poter ricadere sulla superficie.

Ognuno di noi in sala missioni aveva una sua specialità da mettere a disposizione: Weiss, la misurazione dei campi magnetici delle meteoriti; William F. Bottke, la dinamica dei corpi orbitanti; Asphaug, gli effetti delle collisioni; Bruce Bills, il calcolo del campo gravitazionale di un corpo; Daniel Wenkert, la gestione di dati e operazioni. Damon Landau calcolava le traiettorie, è un agente di viaggi spaziale. John Brophy organizzava le nostre decisioni e io avevo portato la mia conoscenza della composizione e dei processi di fusione, solidificazione e differenziazione.

L'energia nella sala dava quasi alla testa per quanto era alta; nessuno si metteva a guardare la posta elettronica, e non c'erano pause nella conversazione. Eravamo uniti nell'entusiasmo per una vera esplorazione: l'umanità non ha mai visitato un corpo metallico, e non sappiamo neppure che aspetto abbia.

Adesso, a distanza di anni, quei giorni in cui si giocava con la gommapiuma e il Lego hanno lasciato il posto a un'azione coordinata di una squadra di circa 75 persone. Abbiamo proposto la costruzione di una piccola sonda alimentata da celle solari e da un propulsore ionico, con a bordo un magnetometro per rilevare i campi magnetici, uno spettrometro a raggi gamma per identificare gli elementi e due telecamere. La nostra proposta ha superato una prima selezione della NASA nel 2015; l'agenzia ha annunciato la decisione finale il 4 gennaio di quest'anno. La nostra proposta è stata approvata insieme alla missione Lucy tra le cinque finaliste del Discovery Program. Se tutto va secondo i programmi, la sonda sarà lanciata nel 2023, ed entro il 2030 visiteremo questo strano residuo della nascita di un pianeta. ■

PER APPROFONDIRE

Iron Meteorites as Remnants of Planetesimals Formed in the Terrestrial Planet Region. Bottke W.F., in «Nature», Vol. 439, pp. 821-824, 16 febbraio 2006.

Asteroids, Meteorites, and Comets. Edizione riveduta. Elkins-Tanton L.T., Facts On File, 2010.

The Earth and the Moon. Edizione riveduta. Elkins-Tanton L.T., Facts On File, 2010.

Jupiter and Saturn. Edizione riveduta. Elkins-Tanton L.T., Facts On File, 2010.

Mars. Edizione riveduta. Elkins-Tanton L.T., Facts On File, 2010.

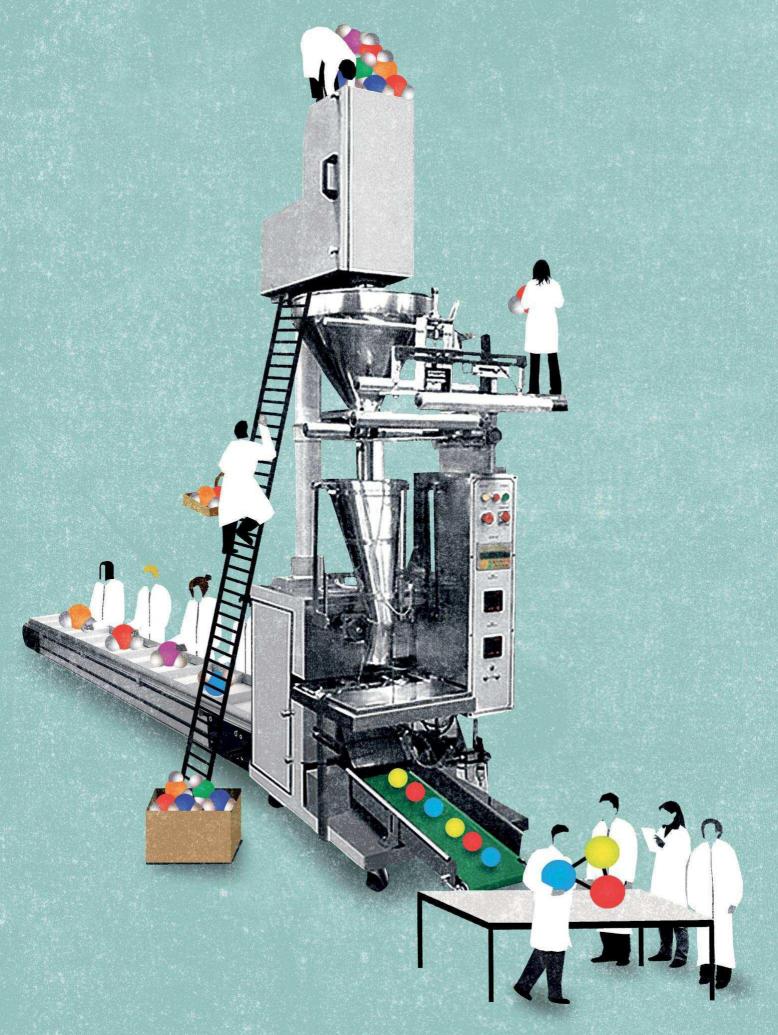
The Sun, Mercury, and Venus. Edizione riveduta. Elkins-Tanton L.T., Facts On File, 2010.

Uranus, Neptune, Pluto, and the Outer Solar System. Edizione riveduta. Elkins-Tanton L.T. Facts On File, 2010.

Vision and Voyages for Planetary Science in the Decade 2013-2022. Committee on the Planetary Science Decadal Survey, National Academies Press, 2011.

Mercury and Other Iron-Rich Planetary Bodies as Relics of Inefficient Accretion. Asphaug E. e Reufer A., in «Nature Geoscience», Vol. 7, n. 8, pp. 564-568, agosto 2014.

I piccoli pianeti. Asphaug E., in «Le Scienze» n. 383, luglio 2000.

Nato dal caos. Batygin K., Laughlin G. e Morbidelli A., in «Le Scienze» n. 575, luglio 2016.

VACCINI

Il tallone d'Achille dell'HIV

Una proteina di tre elementi che imita particolarmente bene un componente fondamentale dell'HIV potrebbe portare al tanto atteso vaccino

di Rogier W. Sanders, Ian A. Wilson e John P. Moore

IN BREVE

Nonostante i tanti progressi della medicina nelle terapie per l'infezione da HIV, non è ancora stato sviluppato un vaccino sicuro ed efficace.

Parte del problema è che la proteina virale che meglio si presta a fare da base per un vaccino si disintegra appena i ricercatori tentano di manipolarla.

Sfortunatamente, i frammenti di proteina da soli non stimolano il sistema immunitario a produrre gli anticorpi protettivi che possono bloccare l'ingresso del virus nelle cellule umane.

Dopo quasi vent'anni di lavoro, gli autori sono riusciti a creare una proteina sintetica che non si disintegra e imita le proteine dell'HIV abbastanza bene da riuscire a stimolare i giusti anticorpi negli animali. La proteina, o una simile a essa, dovrà essere perfezionata per arrivare a un vaccino efficace.

Illustrazione di Patric Sandri

Rogier W.Sanders è professore di virologia all'Academic Medical Center dell'Università di Amsterdam e membro affiliato della Weill Cornell Medicine di New York. La sua ricerca è concentrata sulla progettazione di nuovi vaccini contro l'HIV.

Ian A. Wilson è presidente e docente del Dipartimento di biologia computazionale e strutturale integrate allo Scripps Research Institute. La sua ricerca attuale riguarda la modellizzazione delle interazioni fisiche tra sistema immunitario e certi virus, in particolare HIV, influenza ed epatite C.

John P. Moore, che fa ricerca sui vaccini per l'HIV dal 1988, è professore di microbiologia alla Weill Cornell Medicine.

Sono passati più di trent'anni dall'identificazione dell'HIV come causa dell'AIDS, ma ancora non siamo riusciti a trovare un vaccino efficace contro il virus. C'è una classe di farmaci che possono tenere a bada l'infezione anche per decenni, ma un vaccino che la prevenga del tutto sarebbe l'arma migliore, soprattutto nei paesi in via di sviluppo, dove il costo dei farmaci e altri fattori mettono le terapie efficaci fuori dalla portata di molti individui. Senza terapie, solitamente l'infezione da HIV resta silente e progredisce verso l'immunodeficienza grave (AIDS) e la morte nel corso di parecchi anni.

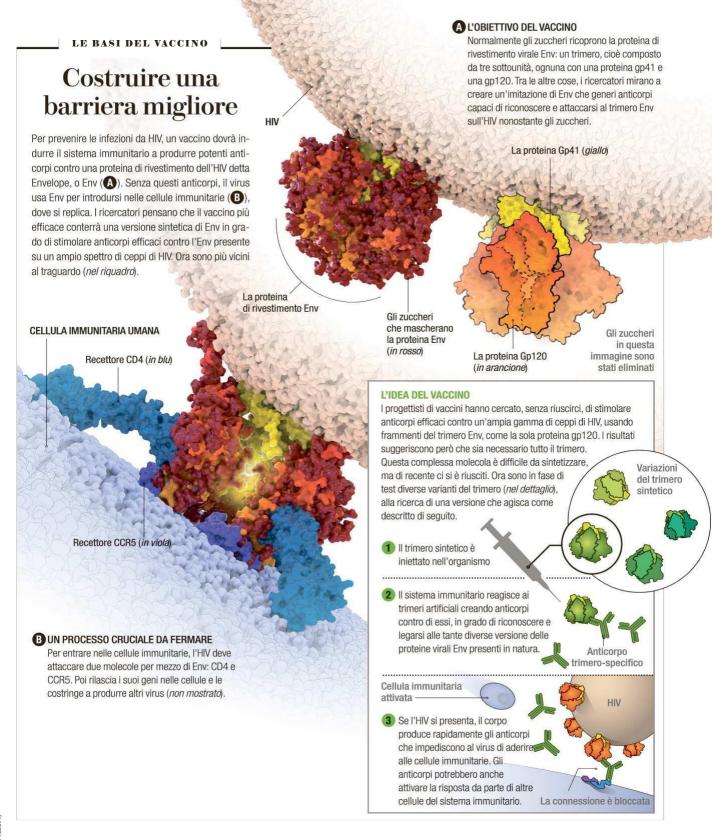
Il lungo ritardo nello sviluppo di un vaccino non è dovuto a mancanza di tentativi o di finanziamento. Il problema è che l'HIV non è come gli altri virus affrontati dai ricercatori. Affinché funzioni, un vaccino antivirale deve stimolare il sistema immunitario in modo che questo attacchi e distrugga il virus in questione prima che possa invadere le cellule e diffondersi nell'organismo. Ma l'HIV ha evoluto molte difese contro il sistema immunitario umano. Diabolicamente, questo virus uccide o rende inefficace le cellule del sistema immunitario fondamentali per coordinare la risposta dell'organismo. Inoltre, l'HIV è un grande maestro del travestimento, che ha finora vanificato gli sforzi degli ideatori di vaccini che hanno cercato di insegnare al corpo umano come riconoscere e bloccare rapidamente l'infezione delle sue tante varianti.

Noi tre e i nostri colleghi siamo riusciti, dopo quasi vent'anni di tentativi, a produrre una proteina sintetica che dovrebbe aiutare a superare le difficoltà incontrate finora nel preparare il vaccino. Abbiamo mostrato che questa molecola può suscitare una forte risposta all'HIV negli animali. Per diventare la base per un vaccino negli esseri umani dovrà essere modificato per essere più potente e in grado di prevenire l'infezione da parte di uno spettro molto più ampio di ceppi virali. Tutto questo prenderà molto tempo, ma nel nostro e in altri laboratori affrontiamo già le sfide che rimangono e siamo convinti di essere finalmente sulla buona strada.

La visione

La proteina che abbiamo costruito imita la proteina virale di rivestimento (*envelope*), o Env, in modo più completo di quanto sia stato possibile finora. Env si trova sulla superficie dell'HIV, come uno spuntone, e permette al virus di entrare nelle cellule del sistema immunitario, i linfociti T CD4+. Queste cellule T normalmente comunicano con altre parti del sistema immunitario per mezzo di diverse proteine – tra cui due chiamate CD4 e CCR5 – che ne punteggiano la superficie esterna come torri di segnalazione sulle mura di una fortezza. Quando l'HIV tenta di entrare nella cellula immunitaria, una delle sue proteine del rivestimento prima si allaccia alla proteina CD4, consentendo il legame anche con CCR5. Successivamente la proteina virale si deforma e si ridispone in modo che le membrane esterne del virus e della cellula immunitaria si fondano. Durante la fusione il virus libera i propri geni nella cellula, che produce miliardi di copie del virus; queste particelle virali a loro volta escono dalla cellula e ne contagiano altre, in cui si ripete il processo infettivo.

I ricercatori hanno a lungo sognato di prevenire l'infezione da HIV bloccando le manovre della proteina di rivestimento. L'approccio più logico sarebbe «insegnare» al sistema immunitario dell'organismo a produrre molecole, gli anticorpi, che riconoscano e aderiscano specificatamente alla proteina Env sull'HIV. In teoria questi anticorpi avrebbero due risultati positivi. Formerebbero

Illustrazione di Falconieri Visuals (*immagine principale*) e Jen Christiansen (*schema vaccini*)

una barriera che eviti che l'HIV si leghi a CD4 e CCR5 e quindi entri nelle cellule T CD4+, e assicurerebbero l'eliminazione del virus per mezzo di diverse parti del sistema immunitario. Un approccio molto simile funziona bene per i vaccini contro altri virus, come l'epatite B: una proteina della superficie del patogeno è prodotta in laboratorio grazie all'ingegneria genetica; quando sono iniettate nell'individuo, queste proteine non possono causare la malattia (perché è assente il resto del virus), ma possono indurre il sistema immunitario a produrre anticorpi che cercheranno e distruggeranno ogni virus che mostra la proteine uguali o simili.

Sfortunatamente l'HIV elude l'approccio standard alla progettazione dei vaccini, perché le sue proteine Env hanno la pessima

abitudine da andare in pezzi appena vengono separate da un virus intatto. Questi pezzi comprendono le subunità gp120 (la parte della proteina Env che si attacca a CD4) e gp41, che àncora Env alla membrana virale e poi facilita la fusione delle membrane del virus e della cellula immunitaria.

Si potrebbe pensare che la tendenza della proteina di rivestimento ad andare in pezzi non sia un grosso problema. Dopo tutto il virus non può infettare una cellula senza che gp120 si leghi alla proteina di segnale CD4, e il sistema immunitario può – e lo fa – produrre anticorpi contro le singole molecole gp120. Infatti per anni (e qualcuno ci prova ancora) si è tentata la produzione di un vaccino usando le subunità gp120, senza successo. È emerso che gli anticorpi contro le singole proteine gp120 non innescano una forte risposta immunitaria contro il virus che infetta gli individui. Gli studi che riguardano la proteina Env intera, invece, suggeriscono che gli anticorpi contro di essa siano molto più efficaci nell'individuare l'HIV per distruggerlo.

Finalmente nel 1998 uno di noi (Moore) ha deciso che probabilmente la produzione di un vaccino efficace avrebbe richiesto l'abbandono della strada di gp120 per concentrarsi su un vaccino basato su tutta la proteina di rivestimento. Produrre un vaccino del genere sarebbe stato difficile per diverse ragioni, non ultimo il fatto che ogni proteina Env è complessa: è un trimero, composto da tre copie degli elementi gp120 e gp41. Un altro di noi (Sanders) si è unito all'impresa poco dopo, seguito a ruota da un altro coautore (Wilson).

Per prevenire l'infezione da HIV in tutto il mondo sono necessari anticorpi capaci di riconoscere molte diverse varianti delle proteine di rivestimento

Tante sfide

Per prevenire l'infezione da HIV, qualsiasi vaccino – compreso uno che si basi sui nostri studi – dovrà rispondere a diverse sfide. Per esempio dovrà stimolare il sistema immunitario a produrre un particolare tipo di anticorpi. I più efficaci sono quelli che riconoscono un virus intatto (nel caso specifico dell'HIV, individuando la proteina Env) e si legano a esso in modo da evitare che il virus entri nella cellula. Queste molecole fondamentali per la difesa sono dette anticorpi neutralizzanti, perché neutralizzano l'infettività del virus.

Per prevenire l'infezione in tutto il mondo, non possiamo semplicemente stimolare qualsiasi vecchio anticorpo neutralizzante. Abbiamo bisogno di quelli «attivi ad ampio spettro», capaci di riconoscere molte diverse varianti delle proteine di rivestimento, ed evitare che usino CD4 e CCR5 per entrare nelle cellule immunitarie. Generare anticorpi neutralizzanti attivi ad ampio spettro contro diverse parti di Env potrebbe essere, se possibile, una strategia ancora migliore.

Gli anticorpi dovrebbero inoltre essere stimolati dal vaccino a reagire anche quando la proteina di rivestimento è avvolta in una coperta di zuccheri straordinariamente spessa che essenzialmente nasconde l'HIV dal sistema immunitario. Durante l'infezione, senza terapie, il sistema immunitario riesce a produrre una risposta (tra cui anticorpi neutralizzanti) che limita la replicazione virale per anni, ma è troppo lenta e debole per eliminare completamente l'HIV. E possono essere necessari mesi o anni affinché l'organismo riesca a capire come generare anticorpi neutralizzanti che superino o riconoscano gli zuccheri che camuffano l'HIV. Nel frattempo il virus distrugge sempre più cellule immunitarie che l'organismo non si può permettere di perdere.

Prove ed errori

Ci sono voluti diversi tentativi (tutti finanziati dai National Institutes of Health, NIH) e quasi vent'anni affinché il nostro gruppo riuscisse a creare un trimero che avesse due delle caratteristiche fondamentali da noi cercate: che non si disintegri e sia in grado di stimolare gli anticorpi neutralizzanti contro i ceppi importanti di HIV.

Abbiamo iniziato isolando i geni *Env* di un ceppo particolare di HIV, usandoli per sintetizzare le proteine Env. Per farlo, abbiamo eliminato la parte che normalmente àncora la proteina di rivestimento alla superficie dell'HIV. Il nostro primo tentativo era finito con una proteina che comunque andava in pezzi. Molti altri gruppi di ricerca avevano cercato di aggirare il problema, ingegnerizzando la proteina in modo da garantire che non si sarebbe disintegrata. Le molecole, che non andavano in pezzi, avevano però una struttura tanto diversa da quelle delle proteine di rivestimento sull'HIV che si dimostravano incapaci di richiamare gli anticorpi necessari.

Era il momento di guardare ad altri virus che avessero qualche somiglianza strutturale con l'HIV. Così abbiamo scoperto che le proteine di superficie di alcuni di questi virus hanno una sorta di legame chimico che collega i loro equivalenti delle proteine gp120 e gp41 con una coppia di atomi di zolfo. Abbiamo iniziato a cercare un punto in cui aggiungere questo sostegno di zolfo alle proteine del rivestimento di HIV che stavamo sintetizzando, sfruttando quello che già sapevamo su come i componenti gp120 e gp41 del trimero dell'HIV si assemblano insieme, in modo da ragionare su dove inserire il sostegno per legare tutto in maniera più forte. Per prove ed errori, abbiamo trovato il posto giusto, ma i trimeri ottenuti continuavano a sbriciolarsi, anche se in modo diverso rispetto ai tentativi passati.

Abbiamo quindi fatto una piccola modifica al componente gp41. Tutte le proteine sono composte di diversi amminoacidi, le cui cariche elettriche, tra le altre cose, spingono le proteine ad assumere forme distinte. Sanders ha deciso di forzare la porzione gp41 del nostro trimero artificiale ad adottare forme leggermente diverse operando particolari sostituzioni amminoacidiche. Alla fine ha trovato una composizione alternativa (sostituendo un'isoleucina con una prolina) che permette al trimero di stare insieme. Abbiamo chiamato la nostra proteina ingegnerizzata «SOSIP» in onore delle due mosse che l'hanno resa possibile: le prime tre lettere (SOS) si riferiscono al sostegno di zolfo, le ultime due indicano la modifica chiave che abbiamo fatto nella proteina gp41.

Le cose sono rimaste ferme per molti anni. I nostri trimeri erano stabili, tuttavia quando li immergevamo in un liquido, come è necessario per avere un vaccino, formavano grumi che li rendevano inutili.

Due sviluppi fondamentali hanno permesso di andare avanti. Il primo è stato l'arrivo di Andrew Ward, dello Scripp Research Institute, che si è unito nello sforzo per determinare la struttura fisica del trimero di Env. Ward è riuscito a scattare fotografie molto dettagliate dei nostri trimeri con il microscopio elettronico e ci ha fatto vedere che attiravano globuli di grasso, o lipidi, che di fatto rendevano i trimeri SOSIP appiccicosi al punto di coagularsi tipo gomma da masticare. E mentre alcuni dei nostri trimeri artificiali somigliavano alle proteine del rivestimento virale, altre avevano

preso forme molto strane. Chiaramente non riuscivamo a produrre in modo regolare il tipo di trimeri che stavamo cercando, con la corretta imitazione degli spuntoni.

Guidati dalle microfotografie elettroniche, abbiamo trovato il modo di tagliare via una sezione alla fine dei nostri trimeri ingegnerizzati che assorbiva le molecole lipidiche appiccicose. Abbiamo chiamato questi trimeri troncati SOSIP.664, dal punto in cui li abbiamo interrotti: ciascuna delle tre parti del trimero consiste di una lunga catena di amminoacidi, e abbiamo troncato al 664esimo amminoacido della catena. Osservando questi trimeri leggermente più corti al microscopio elettronico, Ward ha visto subito che tutti somigliavano molto alla parte visibile delle strutture a punta trovate su ceppi infettivi di HIV.

A questo punto SOSIP.664 aveva la composizione amminoacidica della proteina di rivestimento di una delle varianti di un ceppo di HIV, ma volevamo anche costruire un trimero che potesse stimolare la produzione di anticorpi neutralizzanti efficaci contro un ampio spettro di ceppi.

Nessuno sa davvero, anche adesso, come produrre un trimero in grado di indurre nei pazienti anticorpi neutralizzanti ad ampio spettro. Per farlo, il modo migliore è essere sicuri, come minimo, che il trimero sia riconosciuto - ovvero si leghi – in test di laboratorio da un'estesa collezione di anticorpi neutralizzanti ad ampio spettro raccolti da persone infettate per molti anni con ceppi diversi di HIV. In altre parole, affinché gli anticorpi neutralizzanti ad ampio spettro esistenti possano attaccarsi a un particolare trimero, devono sembrare assai simili, dal punto di vista biochimico, alle proteine Env naturali. Quindi iniettare trimeri così corrispondenti in esseri umani non infettati potrebbe spingere il sistema immunitario a produrre simili potenti anticorpi.

Abbiamo ottenuto un prototipo funzionante di prima generazione che può essere modificato per stimolare gli anticorpi più efficaci contro l'HIV

Visto che non potevamo prevedere quale composizione amminoacidica della proteina Env avrebbe avuto le caratteristiche che desideravamo, non avevamo altra scelta se non analizzare tutte le proteine di rivestimento di un centinaio di ceppi virali diversi ottenuti da pazienti di tutto il mondo. Per ognuna di queste abbiamo prodotto proteine SOSIP, per cercare una variante che al microscopio elettronico imitasse la protuberanza e fosse riconosciuta da molti anticorpi neutralizzanti ad ampio spettro prelevati dalle persone.

Alla fine abbiamo trovato quello che cercavamo dal campione prelevato da un bambino di sei settimane – battezzato con il codice BG505 – nato con l'HIV a Nairobi, in Kenya. Questo particolare ceppo virale era stato isolato da Julie Overbaugh, del Fred Hutchinson Cancer Research Center di Seattle, insieme ai colleghi dell'Università di Nairobi, e le informazioni sulla sua sequenza genetica – e quindi sulla composizione amminoacidica delle sue proteina – ci sono state fornite dall'International AIDS Vaccine Initiative (IAVI).

Il secondo passo è stato l'invenzione di un modo per produrre un gran numero di questi particolari trimeri, che abbiamo chiamato BG505 SOSIP.664 (o trimero BG505, per brevità), nella forma più pura possibile. Tra le altre cose, il risultato ci aveva permesso di produrre cristalli di questo materiale, attraverso cui far passare i raggi X per determinarne la struttura molecolare. Significava inoltre che ne potevamo fare abbastanza per testarlo negli animali e poi negli esseri umani. Anche se i test di laboratorio dei nostri trimeri erano stati promettenti, dovevamo ancora confermare i risultati negli animali.

Abbiamo iniettato i trimeri BG505 in conigli e scimmie, e abbiamo prelevato gli anticorpi contro l'HIV prodotti. Quando abbiamo aggiunto gli anticorpi a tessuti in coltura composti di cellule umane, abbiamo trovato che avevano protetto quelle cellule contro l'infezione da virus BG505 ma non contro altri ceppi. Sebbene gli anticorpi non avessero l'ampiezza dell'attività neutralizzante che sarebbe stata necessaria, era un buon inizio.

Il passo successivo sarà ripetere gli stessi esperimenti sulle persone. Buona parte della nostra ricerca è stata finora sostenuta dalla Bil & Melinda Gates Foundation. Stiamo anche parlando con IAVI e NIH della progettazione e del finanziamento di un trial clinico esplorativo, che dovrebbe coinvolgere circa 50 volontari. Non svilupperemo un vaccino protettivo direttamente da questi primi trimeri artificiali, o per lo meno non nella configurazione attuale. Per quanto i risultati dei test su animali siano ragionevolmente predittivi di quello che accade negli esseri umani, non sono a prova di bomba. I trial clinici sugli esseri umani ci diranno come il sistema immunitario risponde ai nostri trimeri artificiali. Queste informazioni, insieme ai dati del laboratorio di Wilson su quanto i trimeri siano simili alle proteine naturali del rivestimento virale, dovrebbero aiutarci a riprogettare le nostre proteine per sviluppare un vaccino protettivo. Dovremo modificare un po', e probabilmente più di una volta, quello che abbiamo prodotto. Dovremo anche sfruttare gli sviluppi recenti nella comprensione di come il sistema immunitario umano produce anticorpi neutralizzanti ad ampio spettro per migliorare il modo in cui somministriamo trimeri nuovi e attuali alle persone.

Di fatto, abbiamo creato un prototipo funzionante di prima generazione che possiamo modificare in tanti modi per determinare quale configurazione abbia maggiori probabilità di produrre gli anticorpi più efficaci. Il nostro scopo finale – la produzione di un vaccino che induca negli esseri umani anticorpi neutralizzanti ad ampia attività contro i ceppi più comuni di HIV – è ancora lontano dall'essere assicurato. Ma i buoni risultati ottenuti finora negli animali e nei test cellulari con il nostro approccio suggeriscono che il problema non sia irrisolvibile.

Inoltre, adesso la comunità scientifica dispone degli strumenti SOSIP e di metodi per ottenere le migliori proteine possibili da usare come vaccino. Molti gruppi stanno creando le proprie versioni dei trimeri di forma appuntita per testare i diversi vaccini. I prossimi anni dovrebbero finalmente essere produttivi per un campo che su questo duro problema si è fermato per molo tempo. ■

PER APPROFONDIRE

Next-Generation Cleaved, Soluble HIV-1 Env Trimer, BG505 SOSIP.664 gp140, Expresses Multiple Epitopes for Broadly Neutralizing but Not Non-Neutralizing Antibodies. Sanders R.W. e altri, in «PLoS Pathogens», Vol. 9, n. 9, articolo n. e1003618, 19 settembre 2013.

An HIV Vaccine: Mapping Uncharted Territory. Fauci A.S., in «Journal of the American Medical Association», Vol. 316, n. 2, pp. 143-144, 12 luglio 2016.

La ricerca sul vaccino per l'HIV descritta sul sito web del National Institute of Allergy and Infectious Diseases: **www.niaid.nih.gov/topics/hivaids/research/vaccines.**

HIV: la ricerca del vaccino continua. Watkins D.I., in «Le Scienze» n. 485, gennaio 2009.

Scienziati estraggono una «carota» lunga un metro dal permafrost nel sito di ricerca di Eight Mile Lake, nei pressi di Healy, in Alaska, nel settembre 2016. Colore bruno e consistenza (*a fronte*) indicano che il suolo è pieno di materia organica, suscettibile di decomporsi e rilasciare gas serra.

CAMBIAMENTO CLIMATICO

Previsioni sul permafrost

Probabilmente lo scongelamento della tundra artica accelererà il cambiamento climatico per un secolo o anche di più. Ma quanto drasticamente?

di Ted Schuur

IN BREVE

Il permafrost – suolo che resta congelato per tutto l'anno – si sta scongelando un po' in tutta la regione artica. Il suolo si riscalda, e i microbi degradano i resti vegetali e animali contenuti, liberando anidride carbonica e metano nell'atmosfera.

La regione del permafrost, nell'emisfero settentrionale, è vasta e contiene circa 1450 miliardi di tonnellate di carbonio organico, quasi il doppio del carbonio presente in atmosfera.

I dati forniti da numerosi sensori fanno pensare che tra il 5 e il 15 per cento di questo carbonio potrebbe fuggire dal terreno in questo secolo. Se fosse il 10 per cento, entrerebbero in atmosfera tra 130 e 160 miliardi di tonnellate di carbonio, accelerando il riscaldamento globale. Per prevenire il riscaldamento del permafrost, la cosa migliore è rallentare il riscaldamento del pianeta.

Ted Schuur è professore di ecologia degli ecosistemi alla Northern Arizona University, e da quasi vent'anni conduce ricerche sul campo nelle zone artiche. È a capo del Permafrost Carbon Network, un consorzio internazionale di ricercatori che sintetizza e presenta i nuovi risultati delle ricerche su carbonio nel permafrost e clima.

Il blocco compatto da 20 chilogrammi di ghiaccio e neve indurita sfugge alla presa dei miei guanti di gomma e cade nella lunga trincea che sto scavando nella neve profonda. Inginocchiato sul bordo, mi raddrizzo per riprendere fiato e raddrizzare la schiena indolenzita, protetta da una cintura da sollevatore di pesi.

È una giornata luminosa e fredda nell'interno dell'Alaska, e con altri cinque scienziati sto rimuovendo tonnellate di neve lungo la quarta delle sei barriere disposte su un morbido rilievo della tundra, per poi portarla via con le slitte. Il nostro lavoro fa parte di un esperimento progettato per mantenere caldo il terreno in modo da simulare quello che potrebbe fare il clima del futuro in questa remota località, giusto all'esterno del Denali National Park.

Siamo ai primi di aprile, e da oltre una settimana il mio gruppo rimuove cumuli di neve compressa accumulatisi lungo le barriere che installiamo in questo sito ogni autunno. Ognuna è alta un metro e mezzo e lunga otto, più o meno. La neve in eccesso isola il terreno dall'aria gelida dell'inverno come una coperta, mantenendo la superficie del permafrost – il terreno che non si scongela mai completamente, per tutto l'anno – più calda di quanto sarebbe in sua assenza. Ora togliamo la neve in eccesso affinché l'impatto della primavera penetri nelle nostre porzioni di terreno sperimentale in contemporanea con le regioni circostanti della tundra e per evitare che nel terreno percoli un eccesso di acqua di fusione, alterando il suolo rispetto a quello dell'area più estesa.

Tenere più caldo il suolo durante l'inverno fa sì che in estate il disgelo cominci prima e sia più ampio; che poi è esattamente quello che si prevede debba avvenire negli ecosistemi artici e in quelli boreali giusto a sud dell'Artico con l'aumento delle temperature, che crescono a velocità doppia rispetto alla media globale. Il permafrost è fatto di sassi, suolo congelato e ghiaccio, quindi scaldandosi non fonde, si scongela. Come un hamburger tirato fuori dal freezer, diventa molle, non liquido. Quando si scongela, i microbi contenuti nel permafrost si riattivano e decompongono resti di piante e animali accumulatisi per secoli o millenni nel suolo gelato, liberando anidride carbonica e metano.

La zona del permafrost che circonda il Polo Nord della Terra trattiene nei suoli tanto materiale organico che il rilascio anche solo di una sua frazione come gas serra in atmosfera farebbe salire drammaticamente il tasso del riscaldamento globale. Il nostro esperimento in Alaska è una parte importante della ricerca integrata in corso nel mondo per capire quanto potrà essere intenso questo effetto nei decenni venturi. Adesso, finalmente, cominciamo a saperne abbastanza da formulare previsioni solide.

Uno scongelamento di vasta portata

In che modo possiamo dare un numero a quanto permafrost si scongelerà, e quanto velocemente, e a quanto influirà l'emissione di carbonio sul riscaldamento globale? Una quantificazione dovrebbe considerare una massiccia area del pianeta. La regione del permafrost copre 16,7 milioni di chilometri quadrati dell'emisfero settentrionale: quasi un quarto delle terre emerse libere dai ghiacci. E il terreno congelato può essere profondo decine o anche centinaia di metri. Per inciso, gran parte delle alte latitudini dell'emisfero sud sono coperte da oceani o calotte di ghiaccio terrestri, e quindi in quelle zone l'estensione del permafrost è limitata.

Sebbene satelliti e dispositivi di rilevamento remoto riescano a registrare in modo preciso cambiamenti in calotte glaciali come quella della Groenlandia, per le regioni del permafrost non ci sono sistemi completi di rilevamento a distanza. Gli scienziati hanno monitorato per anni sensori nel terreno installati in determinati siti del permafrost, ma non avevamo abbastanza dati a livello mondiale. Abbiamo tuttavia continuato ad aggiungere nuovi sensori. Il Global Terrestrial Network for Permafrost segue oltre 1000 perforazioni piene di strumenti che misurano la temperatura dei suoli sia nei primi metri dalla superficie sia più in profondità.

La rete ha mostrato che nei decenni passati il permafrost si è riscaldato costantemente, segnando nuovi record nel 2014 e nel 2015 in molte località. L'incremento più netto c'è stato dove le temperature dei suoli erano storicamente assai fredde, tra i -10 e i

Fotografie di Brian Adams

I sensori nelle scatole bianche nei pressi delle montagne innevate dell'Alaska Range misurano assorbimento e rilascio di anidride carbonica da parte del suolo (*1*). Meghan Taylor, ricercatrice della Northern Arizona University, registra i dati (*2*).

-15 gradi Celsius, ma abbiamo visto aumentare anche le temperature di suoli più prossimi al punto di congelamento, tra -2 e 0 gradi Celsius, dove un cambiamento di un solo grado può avere un forte impatto. In alcuni luoghi, dove il permafrost si trova appena sotto il punto di congelamento, lo strato attivo – il terreno in superficie, che si scongela d'estate e si ricongela d'inverno – sta diventando più spesso. Mettendo insieme tutte queste misurazioni globali, possiamo farci una buona idea dei cambiamenti delle temperature dei suoli in tutto l'Artico.

Sapere quanto permafrost potrebbe scongelarsi è solo una parte dei calcoli necessari. Dobbiamo anche sapere quanta materia organica contiene il suolo che si ammorbidisce. La primavera scorsa, nel sito di ricerca di Eight Mile Lake, il mio gruppo ha perforato il terreno tirandone fuori «carote» fino alla profondità di 1,5 metri, come abbiamo fatto per diversi anni da quando il progetto è iniziato, oltre un decennio fa. Le misurazioni effettuate da noi e da altri nella tundra mostrano che il metro cubo superiore del suolo contiene circa 50 chilogrammi di carbonio organico, cioè incorporato in organismi parzialmente decomposti ma congelati (al contrario del carbonio inorganico, che fa parte delle rocce ed è improbabile che risenta della temperatura). È un quantitativo circa cinque volte più grande di quello che trova nei suoli diversi dal permafrost della stessa regione, e 100 volte superiore a quello immagazzinato negli arbusti e nelle altre piante che riescono a vivere nella regione artica.

Il carbonio può trovarsi anche a decine di metri di profondità, e nel complesso i ricercatori stimano che ci siano da 1330 a 1580 miliardi di tonnellate di carbonio organico immagazzinate nel permafrost dell'emisfero settentrionale: quasi il doppio del carbonio presente nell'atmosfera del pianeta. I primi tre metri del suolo della zona del permafrost boreale contengono da soli il 50 per cento del carbonio dei primi tre metri del suolo di tutto il resto del pianeta, sebbene la regione rappresenti solo il 15 per cento della superficie totale dei suoli.

Gli scienziati stanno anche misurando la quantità di carbonio organico in luoghi mai prima oggetto di indagine, come il permafrost sui fondali poco profondi di una parte delle coste artiche. Questo permafrost è in via di lenta degradazione a mano a mano che in esso si infiltra l'acqua di mare, e non è ancora chiaro quanto carbonio potrebbe contenere. Inoltre il carbonio è abbondante negli spessi sedimenti dei vasti delta fluviali dell'Antartico, ma qui, semplicemente, i siti su cui abbiamo effettuato le misurazioni non sono molti. Il meglio che possiamo suggerire per ora è che potrebbero esserci più o meno altri 400 miliardi di tonnellate di carbonio trattenute in questi luoghi diversi.

Quanto, e quanto in fretta?

Date le vaste riserve di carbonio immagazzinate nel permafrost, sembra plausibile che lo scongelamento possa liberare massicce quantità di gas serra. Per quantificare i rilasci bisogna porsi tre domande chiave.

Primo, quanta parte del carbonio potrebbe essere convertita in gas serra? I microrganismi possono metabolizzare e rilasciare una parte del carbonio, non tutto. Il risultato è che una frazione resterà nel terreno perché inaccessibile o non digeribile per i microbi.

Secondo, quanto velocemente l'azione microbica libererà i gas? Il carbonio in rapida decomposizione può finire nell'aria in meno di un anno dallo scongelamento, ma è molto probabile che nel corso dei decenni successivi ne sia rilasciato altro, in parte perché è già in uno stato semidecomposto, che i microbi degraderanno ancora, ma lentamente.

La terza domanda chiave è: quali gas serra rilasceranno i microbi? In definitiva il potenziale di riscaldamento globale dipenderà dalla specifica miscela di anidride carbonica e metano. Un

DATI

Una riserva di carbonio

Secondo le stime, la zona del permafrost dell'emisfero settentrionale (*colorata*) contiene 1035 miliardi di tonnellate di carbonio nei primi tre metri dalla superficie del terreno, che in caso di scongelamento del suolo potrebbero essere liberate, amplificando significativamente il riscaldamento globale. Il permafrost si trova quasi ovunque nelle regioni più settentrionali; è più discontinuo più a sud, ma molte aree, in tutte e due le zone, presentano alte concentrazioni di carbonio (*rosso e arancione*).

Mappa di Mapping Specialists; fonte: *Climate Change and the Permafrost Carbon Feedback*, E.A.G. Schuur e altri, in «Nature», Vol. 520, pp. 171–179, 9 aprile 2015

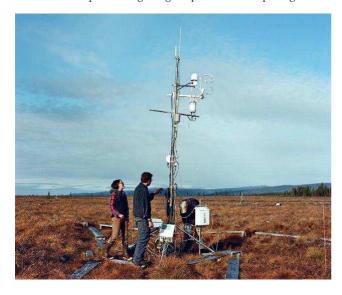
terreno intriso d'acqua e povero di ossigeno (cioè un ambiente anaerobico), per esempio quello delle torbiere, produce tipicamente molto più metano che anidride carbonica, e a parità di peso nell'arco di un secolo il metano ha circa 33 volte il potenziale di riscaldamento globale dell'anidride carbonica.

Noi seguiamo il rilascio dei gas in siti sperimentali come quello di Eight Mile Lake e nella tundra circostante mediante analizzatori di gas all'infrarosso, che ne misurano le concentrazioni nell'arco di secondi, giorni, stagioni e anni. La tundra di Eight Mile Lake sembra perdere in atmosfera più carbonio di quanto ne assorba. Riscaldare il terreno facendo accumulare la neve lungo le barriere aiuta le piante a crescere di più e più in fretta, assorbendo dall'aria e immagazzinando più anidride carbonica. Ma aiuta anche i microrganismi a decomporre più carbonio nel suolo. In estate, la crescita extra delle piante compensa il rilascio addizionale di carbonio dal suolo, ma l'attività microbica prosegue nei lunghi autunni e inverni, quando le piante sono quiescenti, e sposta il bilancio annuo nella direzione di una perdita netta di carbonio verso l'atmosfera.

Se combiniamo i nostri risultati con quelli di altri esperimenti in tutto il mondo, concludiamo che lo scongelamento del permafrost immette carbonio in eccesso nell'atmosfera. I ricercatori mettono insieme i dati attraverso il Permafrost Carbon Network. Come nella parabola dei tre ciechi che devono descrivere un elefante, ogni ricercatore che lavora sul campo nella zona artica ha informazioni particolari e importanti; una volta messe insieme, danno una conoscenza della natura e delle reali dimensioni del fenomeno. Inoltre, il Permafrost Carbon Network sintetizza i risultati in rapporti, conferenze stampa e interviste ai mezzi di comunicazione per informare decisori politici e opinione pubblica, in modo da decidere come rispondere ai mutamenti della Terra.

Un recente progetto di sintesi ha contribuito a rispondere alla domanda sui rilasci relativi di anidride carbonica e metano. In condizioni aerobiche (suoli asciutti) i microbi liberano soprattutto anidride carbonica. Ma nelle condizioni anaerobiche dei suoli palustri e torbosi rilasciano entrambi i gas. Christina Schädel, assistant research professor della Northern Arizona University, che lavora con il mio gruppo ed è una protagonista chiave del Permafrost Carbon Network, ha indagato a lungo su come questo aspetto potrebbe influire sul clima.

A differenza dei nostri studi condotti sul campo, Schädel si è basata su esperimenti in cui suolo congelato era portato in laboratorio e riscaldato in contenitori di vetro, in modo da poter misurare con precisione quantità e velocità di conversione del carbonio del suolo in anidride carbonica o metano. Con tecniche statistiche, la ricercatrice ha poi messo insieme i dati ricavati da test di questo tipo in tutto il mondo e ha trovato che in termini di peso l'anidride carbonica è predominante tra i gas serra rilasciati da campioni di suolo identici, a prescindere dalle condizioni aerobiche o anaerobiche in cui si trovano. Sorprendentemente, l'impatto sul clima del rilascio di gas serra da decomposizione aerobica è il doppio di quello da degradazione anaerobica, malgrado la potenza del metano, che è rilasciato solo in questa seconda modalità.

La torre di strumenti misura per tutto l'anno i passaggi di anidride carbonica e metano tra aria e suolo, che indicano se l'ecosistema sperimenta guadagni o perdite netti di questi gas.

La conseguenza è che lo scongelamento del permafrost nei terreni elevati e relativamente ben drenati avrà probabilmente un impatto più grande sul clima rispetto a uno scongelamento di portata analoga in terreni bassi e intrisi d'acqua. Anche se il metano ha sempre un posto importante nell'equazione, la distribuzione complessiva dell'altitudine dei vari ambienti del paesaggio artico determinerà in misura significativa l'impatto dello scongelamento del permafrost sul clima.

Accelerare il cambiamento climatico

Sintetizzando i dati raccolti sul campo e in laboratorio, e combinando queste informazioni con simulazioni al computer dei futuri scenari climatici, il Permafrost Carbon Network ha dato una risposta alla domanda complessiva su come lo scongelamento del permafrost potrà influire sul clima. Secondo il qualificato giudizio degli scienziati che ne fanno parte, è probabile che tra il 5 e il 15 per cento del carbonio del permafrost sarà rilasciato in atmosfera in questo secolo, la maggior parte come anidride carbonica.

Il punto centrale di questo intervallo – il 10 per cento del totale – significa che entreranno in atmosfera tra 130 e 160 miliardi di tonnellate di carbonio in più. Un quantitativo che, se fosse emesso primariamente come anidride carbonica e a tasso costante lungo tutto il secolo, sarebbe simile alla quantità di carbonio finora rilasciata in tutto il mondo per deforestazione e cambiamenti nell'uso del territorio, ma assai più piccola delle emissioni associate ai combustibili fossili. Lo scongelamento del permafrost farà accelerare il cambiamento climatico ancor più di quanto già prevedano gli scienziati in base alle sole emissioni dovute alle attività umane. E il rilascio di carbonio dal permafrost continuerà con tutta probabilità anche dopo la fine del secolo. Ogni tonnellata di carbonio in più liberata in atmosfera dallo scongelamento delle regioni artiche imporrà ulteriori costi alla società.

Ridurre il fenomeno con qualche espediente locale nella regione artica non è una possibilità realistica. L'unica soluzione reale è limitare le emissioni da combustibili fossili e la deforestazione per rallentare complessivamente il riscaldamento globale. A sua volta questo ridurrà le emissioni da scongelamento delle terre artiche, dando più tempo alle comunità – a tutte le latitudini – per adattarsi.

Gli scienziati sono arrivati all'intervallo 5-15 per cento per la prima volta solo l'anno scorso. Ancora non abbiamo un sistema di rilevamento completo nelle regioni coperte dal permafrost con cui fare previsioni più solide. Un maggior numero di sensori ci permetterebbe di cogliere meglio i cambiamenti, sia rapidi che lenti, che potrebbero far diminuire o crescere le preoccupazioni. E ci aiuterebbero a individuare grandi sorprese sempre possibili.

Nuove iniziative, come il progetto Artico del Next Generation Ecosystem Experiment dello statunitense Department of Energy e l'Arctic-Boreal Vulnerability Experiment della NASA, ci aiutano a colmare serie lacune dei nostri modelli e a effettuare estrapolazioni dalle misurazioni in siti come quelli di Eight Mile Lake alle regioni circostanti e, da ultimo, alla scala globale.

Una questione interessante ed essenziale è se una crescita estesa delle piante possa bilanciare il rilascio di carbonio da parte del permafrost. Le ultime simulazioni tendono a mostrare che stagioni di crescita più lunghe, aumento delle temperatura, maggiori quantità di nutrienti rilasciati per le piante dalla decomposizione dei suoli e il naturale passaggio a piante e alberi a crescita più rapida potrebbero compensare il rilascio del carbonio del permafrost nel corso di questo secolo. Ma questa valutazione contraddice i valori misurati a Eight Mile Lake e altrove, secondo cui nel complesso dell'anno si ha una perdita netta di carbonio.

Anche una migliore simulazione sulla subsidenza del terreno che si scongela sarebbe utile; è un aspetto assente nei modelli su larga scala che simulano le interazioni tra carbonio del permafrost e clima. Con la fusione e il drenaggio del ghiaccio del permafrost il terreno si assesta, rendendo più brusco lo scongelamento. È possibile che una diffusa subsidenza aumenti le emissioni previste?

Il fenomeno lo abbiamo visto bene quando siamo tornati a primavera a Eight Mile Lake. Le passerelle di legno che avevamo realizzato quasi dieci anni fa, installando dispositivi di registrazione del flusso dei gas e altre attrezzature, erano inclinate e contorte a causa della subsidenza, e il terreno era ondulato e irregolare.

Il disgelo primaverile a Eight Mile Lake è arrivato a profondità mai viste nel 2016: più di un metro in certi punti, un valore che negli anni precedenti tipicamente osservavamo solo alla fine dell'estate. Questi valori insoliti si aggiungono ad analoghe osservazioni estreme nelle regioni artiche: record nel ritiro precoce della copertura ghiacciata invernale dell'Oceano Artico, scioglimento anticipato delle nevi un po' in tutto l'emisfero settentrionale e scioglimento anticipato della calotta glaciale in Groenlandia. Le emissioni di carbonio dal permafrost sono in corso ora. Il rilascio di questi gas non sarà un'improvvisa scarica capace di alterare bruscamente il clima, come qualcuno temeva. Ma sarà un fenomeno diffuso, e durerà parecchi decenni, complicando il già difficile compito di rallentare il riscaldamento globale che la nostra società deve affrontare. ■

PER APPROFONDIRE

High Risk of Permafrost Thaw. Schuur E.A.G. e Abbott B., in «Nature», Vol. 480, pp. 32-33, 1° dicembre 2011.

Expert Assessment of Vulnerability of Permafrost Carbon to Climate Change. Schuur E.A.G. e altri, in «Climatic Change», Vol. 119, n. 2, pp. 359-374, luglio 2013.

Climate Change and the Permafrost Carbon Feedback. Schuur E.A.G. e altri, in «Nature», Vol. 520, pp. 171-179, 9 aprile 2015.

Metano: la minaccia dal profondo. Walter Anthony K., in «Le Scienze» n. 498, febbraio 2010.

NEUROSCIENZE

Con gli occhi di un neonato

di Orsola Rosa-Salva, Elisa Di Giorgio e Giorgio Vallortigara

La ricerca sui meccanismi cerebrali che ci permettono di riconoscere gli altri esseri animati fornisce nuovi e inaspettati strumenti per lo screening precoce dei disturbi dello spettro autistico

IN BREVE

Come la maggior parte degli animali**,** gli esseri umani vengono al mondo già attrezzati dal punto di vista biologico per riconoscere i segnali associati alla presenza di altri esseri animati e rispondere a questi segnali.

Lo studio su pulcini e neonati dei meccanismi neurobiologici che permettono di riconoscere le entità animate ha ricadute importanti e inaspettate sul versante clinico, in particolare sui disordini del neuro-sviluppo associati alla formazione del cosiddetto cervello sociale.

I risultati aumentano la conoscenza sui meccanismi che guidano la specializzazione del cervello sociale, suggerendo un protocollo per lo screening precoce dell'autismo.

Bodler/iStockphoto

Orsola Rosa-Salva è post-doc presso il Centro Interdipartimentale Mente e Cervello (CIMeC) dell'Università di Trento, dove studia il comportamento e le sue basi neurali.

Elisa Di Giorgio è post-doc al CIMeC dell'Università di Trento, dove studia le origini del cervello sociale nei primi mesi di vita nello sviluppo tipico e atipico.

Giorgio Vallortigara è professore di neuroscienze al CIMeC dell'Università di Trento, dove studia i meccanismi neurobiologici dei processi cognitivi.

Vi sarà capitato di vedere un volto nelle nuvole o in una macchia su un muro. Oppure di osservare un giocattolo muoversi in modo un po' erratico e di notare che «sembra vivo». Il nostro cervello è particolarmente sensibile a questi segnali di «animatezza», che ci consentono di distinguere in modo veloce gli oggetti inerti da quelli vivi.

Ci siamo evoluti in un ambiente che contiene molti tipi di agenti animati – prede, predatori, potenziali compagni sessuali, conspecifici che possono essere amichevoli oppure ostili – e individuarne la presenza e scrutarne le intenzioni è fondamentale per la nostra sopravvivenza e riproduzione.

Poiché il nostro mondo è popolato di agenti animati il cui comportamento e le cui sembianze sono spesso molto diverse da quelle degli oggetti inerti – per esempio gli oggetti animati si muovono da soli, come se fossero spinti da un'energia interna, mentre gli oggetti inerti si muovono come risultato di un'azione, quale un urto, da parte di un altro oggetto – sembrerebbe plausibile credere che apprendiamo con l'esperienza a distinguere queste due fondamentali categorie di entità. In realtà la ricerca ha dimostrato che gli esseri umani, come gran parte degli altri animali, vengono al mondo già attrezzati biologicamente per riconoscere i segnali che sono associati alla presenza di altri esseri animati e rispondere a essi.

Lo studio dei meccanismi neurobiologici che permettono di riconoscere le entità animate ha costituito il fulcro della ricerca effettuata nel nostro laboratorio negli ultimi cinque anni, grazie anche a un importante finanziamento dello European Research Council. Si tratta di un problema scientifico che ha, come vedremo, ricadute importanti e per certi versi inaspettate sul versante clinico, in particolare riguardo ai disordini del neuro-sviluppo associati alla formazione del cosiddetto «cervello sociale».

Una questione di velocità

La storia inizia negli anni settanta, all'Università di Cambridge, dove ricercatori guidati dal neurobiologo Gabriel Horn studiavano le basi neurali dell'imprinting nel pulcino di pollo domestico. L'imprinting è una forma di apprendimento che si può osservare con facilità nelle specie a sviluppo precoce, come anatroccoli o pulcini, che sono nidifughi e subito dopo la schiusa possono muoversi autonomamente. Il primo oggetto a cui gli animali sono esposti per un breve lasso di tempo (di solito qualche ora) subito dopo la schiusa è «fissato» in memoria e riconosciuto come partner sociale.

Horn aveva individuato un'area del cervello dei pulcini che sembrava cruciale per l'imprinting. Quando quest'area era danneggiata i pulcini parevano amnesici, incapaci di distinguere l'oggetto di imprinting, per esempio una scatola rossa, da uno nuovo, per esempio un cilindro blu. Con una certa costernazione, però, i ricercatori si accorsero che quando un oggetto «naturalistico», come una gallina impagliata, era usato al posto di questi oggetti artificiali, i pulcini mantenevano la preferenza per la gallina. In realtà non c'era stato alcun abbaglio sul versante neurobiologico, l'area cerebrale era davvero quella implicata nel processo di apprendimento per imprinting. La preferenza per la gallina non era legata a un processo di apprendimento, perché si manifestava anche negli animali appena usciti dall'uovo, quindi privi di qualsiasi esperienza visiva specifica su come dovesse essere fatta una gallina.

La ricerca successiva mostrò che le regioni del collo e della testa erano cruciali per il manifestarsi della preferenza spontanea nei pulcini neonati. Più o meno negli stessi anni la pediatra Carolyn Goren e collaboratori all'Università del South Carolina osservarono per primi che i bambini neonati preferiscono inseguire con lo sguardo faccine schematiche le cui caratteristiche sono organizzate, in maniera canonica, nella foggia di un triangolo rovesciato. La scoperta fu accolta con scetticismo, perché la preferenza scompariva attorno al primo mese di vita, ma Mark Johnson, del britannico Birkbeck College, che era stato studente di Horn, ipotizzò che potesse esistere un meccanismo generale la cui funzione sarebbe orientare l'attenzione degli organismi verso quegli stimoli su cui è importante siano diretti gli sforzi di apprendimento. Così, guidati da una predisposizione biologica a prestare attenzione a schemi che somigliano alla configurazione di caratteristiche tipiche di una «faccia», i giovani animali possono imparare più rapidamente a riconoscere la mamma (i neonati) o la chioccia (i pulcini), senza farsi distrarre da altri stimoli nell'ambiente.

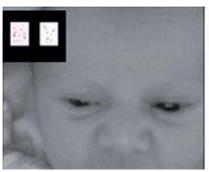
Il meccanismo responsabile della predisposizione, già attivo alla nascita, sarebbe localizzato al di sotto della corteccia, la quale, maturando più tardivamente, verso un mese di vita ne inibirebbe l'operare rendendolo silenzioso (a questo punto dello sviluppo i meccanismi di apprendimento hanno ormai fissato in memoria una rappresentazione generale dei volti e si rivolgono al problema di distinguerli l'uno dall'altro: «Questa è una faccia, d'accordo, ma si tratta della faccia della mamma o di qualcun altro?»). Ovviamente è difficile essere certi che i neonati non siano mai stati esposti, anche solo brevemente, ad alcun volto, ma con i pulcini si possono condurre esperimenti rigorosi, grazie a cui noi abbiamo dimostrato, in laboratorio, una chiara preferenza per le facce schematiche, come quelle preferite dai neonati umani.

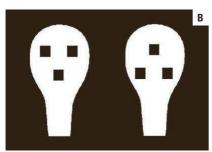
Il pulcino domestico, con la precocità di comportamenti che lo caratterizza e la possibilità di un controllo rigoroso delle esperienze pregresse, è diventato il nostro animale modello per l'individuazione di tutti gli indizi che, in maniera innata, dirigono l'attenzione dell'animale verso gli oggetti dell'ambiente che sono, con maggiore probabilità, agenti animati, e perciò potenziali part-

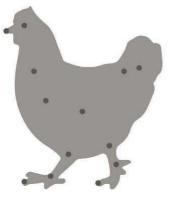
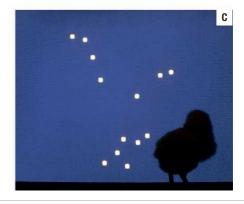
Come studiare le predisposizioni sociali

Lo studio delle preferenze per gli stimoli sociali usa paradigmi sperimentali molto semplici. Ai neonati umani sono presentate due immagini affiancate e si rileva quanto le guardano: l'immagine preferita sarà quella osservata per più tempo (*A*). Per i pulcini invece ciascun animale, fatto schiudere al buio, è posto al centro di un corridoio con due stimoli alle estremità, per esempio un volto schematico e la sua versione rovesciata (*B*).

I movimenti del pulcino sono registrati, misurando la percentuale di tempo spesa vicino a ciascuno stimolo. Così è stato dimostrato che, alla loro prima esperienza visiva, i pulcini preferiscono avvicinare un insieme di punti che si muove nel modo semi-rigido tipico della camminata dei vertebrati; per esempio, i punti posti sul torso sono sempre alla stessa distanza tra loro, quelli sugli arti variano le loro distanze reciproche (*C*). Inoltre i pulcini riconoscono la direzione verso cui la gallina è rivolta, anche se lo stimolo «cammina sul posto», rimanendo sempre al centro dello schermo (come su un *tapis roulant*), e si allineano con essa.

Come avviene negli osservatori umani, i pulcini perdono però questa capacità se il movimento è presentato «a testa in giù», rendendolo incoerente con la direzione della gravità.

Un neonato osserva due stimoli affiancati su un monitor (come esempio sono riportati gli stimoli in miniatura in alto a sinistra) che rappresentano un movimento biologico e un movimento casuale.

Neonati e pulcini preferiscono osservare o avvicinare volti schematici (*a sinistra*) rispetto a stimoli di confronto come un volto rovesciato. Questi stimoli sono anche usati in neonati ad alto rischio di autismo, che non mostrano la classica preferenza per il volto schematico.

Disposizione dei punti luminosi sul corpo della chioccia per creare gli stimoli di movimento biologico. Nei video mostrati a pulcini e neonati umani (*a destra*) erano visibili solo i punti, enfatizzando il movimento anziché la forma della figura.

Cortesia Giorgio Vallortigara (*fotografie e illustrazioni*)

ner sociali. In parallelo abbiamo cercato di verificare se, come nel caso dei volti, i medesimi indizi sono efficaci anche nei neonati della nostra specie (*si veda il box in questa pagina*).

In una serie di esperimenti abbiamo collocato puntini luminosi in posizioni strategiche sul corpo dell'animale, in modo da riprodurre il *pattern* del movimento biologico. Facendo scegliere a pulcini neonati, privi di qualsiasi esperienza visiva, immagini di questo tipo e altre in cui un eguale numero di puntini si muoveva, con la stessa velocità media, con un moto rigido oppure casuale, abbiamo scoperto che i pulcini mostravano una chiara preferenza per il movimento biologico. La preferenza non era specifica del movimento della specie; era legata invece al pattern di variazione semi-rigido che caratterizza il movimento dei vertebrati.

Così, per esempio, i puntini associati alla camminata di un gatto erano per i pulcini attraenti quanto quelli della camminata di una gallina. Questo conferma il ruolo di «guida» che le predisposizioni biologiche eserciterebbero sui processi di apprendimento. Non si tratta di fornire al pulcino i dettagli dello specifico modello di movimento della chioccia, questo renderebbe superflua l'esistenza di un processo di apprendimento come l'imprinting. Invece, poiché nel mondo ci sono tante cose che si muovono, è utile che l'imprinting sia indirizzato verso quegli oggetti in movimento che con maggiore probabilità saranno una gallina anziché una pietra che rotola o un ramo mosso dal vento.

Francesca Simion e collaboratori all'Università di Padova hanno usato i nostri stessi stimoli «gallineschi» per mostrarli a bam-

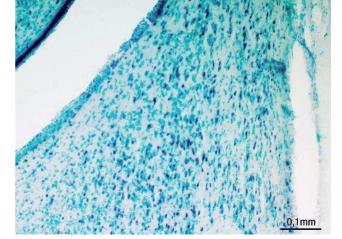
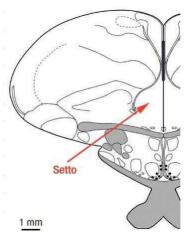
bini neonati di sole 70 ore medie di vita, osservando che, come i pulcini, i neonati umani preferiscono il movimento biologico.

Come notavamo all'inizio, un'altra proprietà fondamentale degli agenti animati, riconosciuta già da Aristotele, è la semovenza: gli oggetti animati si muovono in modo autonomo, mentre gli oggetti inerti si muovono solo come risultato della spinta da parte di un altro oggetto. In alcuni esperimenti abbiamo sottoposto a imprinting pulcini che vedevano un oggetto muoversi da solo oppure come risultato dell'urto apparente con un altro oggetto. Posti successivamente di fronte alla scelta tra l'uno o l'altro oggetto, i pulcini sceglievano come partner sociale quello semovente. In maniera simile, abbiamo scoperto che neonati di poche ore di vita preferiscono guardare più a lungo oggetti semoventi rispetto ad altri oggetti per i quali l'origine del movimento è ambigua.

Che dire poi del giocattolo dal movimento erratico menzionato all'inizio dell'articolo? Che cos'è che lo rende «animato»? Ricerche sugli esseri umani adulti suggeriscono che le variazioni di velocità, brusche accelerazioni e decelerazioni che caratterizzano il movimento delle creature animate, siano la variabile cruciale (sembrano più efficaci dei cambiamenti di traiettoria). Si potrebbe credere che sia il risultato di un apprendimento; dopo tutto un essere umano adulto ha avuto ampie opportunità di associare certi tipi di movimenti agli oggetti animati e altri agli oggetti non animati. Tuttavia abbiamo documentato come pulcini privi di esperienza precedente, sottoposti a esperimento appena usciti dall'uovo, mostrino di preferire e avvicinare selettivamente oggetti, come un dischetto rosso su uno schermo, che si muovono con variazioni di velocità anziché con moto uniforme.

È importante notare che non è la variazione di velocità, cioè la differenza (o la novità) in quanto tale, alla base della preferenza, quanto il fatto di poter vedere il preciso istante in cui l'oggetto accelera e decelera. Se, per esempio, il momento del cambio di velocità non è visibile perché si verifica in un punto della traiettoria in cui il dischetto è occluso da barriere opache, la preferenza non si manifesta, a dispetto del fatto che le variazioni di velocità tra i due stimoli, quello caratterizzato da velocità costante e quello caratterizzato da velocità variabile, sono visibili. Anche in questo caso abbiamo trovato che le preferenze spontanee dei pulcini appena nati hanno un corrispettivo in quelle dei bambini con poche ore di vita: anch'essi sono maggiormente attratti da un oggetto che accelera rispetto a uno che si muove con velocità costante.

Mattoncini del cervello sociale

Oltre a un controllo rigoroso sull'assenza di esperienze precedenti che potrebbero aver influenzato la comparsa delle predisposizioni, un modello animale offre la possibilità di indagare i meccanismi nervosi sottostanti. Usando una tecnica di visualizzazione dell'espressione dei cosiddetti geni precoci, come per esempio *c-fos*, che si attiva quando i neuroni diventano attivi, assieme a Uwe Mayer ed Elena Lorenzi nel nostro laboratorio abbiamo individuato una regione del cervello, il setto, che sembra cruciale per la manifestazione delle predisposizioni per il riconoscimento degli oggetti animati. Il setto è una struttura che si ritrova con caratteristiche altamente conservate nel cervello di mammiferi e uccelli, quindi certamente omologa nelle due classi, nota per svolgere una funzione importante nel cosiddetto *social behaviour network*, un insieme di strutture sottocorticali che sono fondamentali nella regolazione del comportamento sociale nel sistema nervoso dei vertebrati. Oltre al setto, la rete comprende amigdala, ipotalamo anteriore e ventromediale, area preottica mediale e mesencefalo.

Il setto è indicato qui accanto da una freccia rossa in una rappresentazione schematica dell'emisfero sinistro del telencefalo del pulcino (sezione coronale). Sopra, una fotografia al microscopio dell'attivazione cerebrale visualizzata in quest'area, in cui i corpi cellulari sono visibili in verde chiaro, mentre i nuclei dei neuroni attivati hanno colorazione violacea più scura.

Cortesia Giorgio Vallortigara

I passi successivi nel nostro lavoro consisteranno nel cercare di registrare l'attività di singoli neuroni del setto e delle aree connesse mentre l'animale osserva indizi di animatezza, per verificare se vi sia una selettività di risposta a questi stimoli, e di scoprire i geni implicati nelle predisposizioni. Un passo decisivo su questa via è individuare una variabilità su base genetica nelle risposte degli animali. Recentemente, nel nostro laboratorio, Elisabetta Versace ha studiato alcune razze di pollo che sono state selezionate geneticamente e mantenute isolate per quasi vent'anni e allevate in condizioni simili. I pulcini delle diverse razze mostrano sottili differenze nella manifestazione delle preferenze per gli oggetti animati, il che apre la strada all'uso di tecniche di genetica e di biologia molecolare per l'individuazione dei geni coinvolti.

Di solito è facile capire l'utilità di un particolare modello animale per lo studio di un problema biologico fondamentale, per esempio indagare le predisposizioni al riconoscimento degli oggetti animati. Si tratta, in questo caso, della necessità di disporre di un modello che presenti un repertorio di comportamenti sofisticato e ben sviluppato alla nascita, assieme alla possibilità di un controllo rigoroso delle esperienze sensoriali, sia a livello dell'embrione sia dell'animale neonato. Meno facile da comprendere è l'utilità pratica di questo modello per la nostra specie. In fondo, pulcini e bambini hanno avuto un antenato comune – un antico rettile che ha dato origine alle linee separate degli uccelli e dei mammiferi – qualcosa come 280 milioni di anni fa. Eppure, per quanto possa apparire sorprendente, le nostre ricerche sull'umile pulcino di pollo domestico potrebbero avere ricadute importanti sul piano medico e clinico per la nostra specie.

Il nostro ragionamento è stato semplice. Le predisposizioni per riconoscere gli agenti animati sono i mattoncini grazie ai quali è possibile edificare un cervello sociale. L'attenzione a volti, movimento biologico, semovenza sono tutti segnali della presenza nel

DEFINIZIONE E SINTOMI

Che cosa sono i disordini dello spettro autistico

I disordini dello spettro autistico sono un insieme eterogeneo di alterazioni del neurosviluppo, legati a un'anomala maturazione cerebrale presente già in epoca fetale. Si manifestano entro i tre anni di vita e sono caratterizzati dalla compromissione della comunicazione e dell'interazione sociale, e dalla presenza di interessi e comportamenti ristretti e ripetitivi.
Recenti studi effettuati negli Stati Uniti (in Italia mancano dati) indicano la loro prevalenza in 1 bambino su 88, con i maschi più colpiti delle femmine, e nella maggior parte dei casi è dimostrabile una causa genetica. Tra i campanelli di allarme segnalati nei primi mesi di vita vi sono il ritardo dello sviluppo linguistico, la mancata risposta al nome, scarso e incostante contatto con lo sguardo, scarso interesse per gli altri e per le loro attività.
Una diagnosi tempestiva e l'avvio di trattamenti mirati migliorano la prognosi dei bambini colpiti, motivi per cui risultano cruciali lo screening e la diagnosi precoci.

Un test nel laboratorio mobile degli autori con un neonato ad alto rischio, mentre osserva due stimoli su un monitor.

Cortesia Giorgio Vallortigara

mondo di un agente sociale; prestando attenzione a questi segnali diventa possibile imparare cose utili sugli agenti sociali (come sono fatti e come si comportano). È possibile, quindi, che il mancato o imperfetto sviluppo di questi mattoncini elementari possa pregiudicare la formazione di un cervello sociale ed essere responsabile di alcune forme, anche devastanti, di disordini del neurosviluppo?

Primi passi per uno screening

Uno studio che abbiamo condotto insieme al *network* italiano per il riconoscimento precoce dei disturbi dello spettro autistico (NIDA), coordinato da Maria Luisa Scattoni, dell'Istituto superiore di Sanità, suggerisce che la risposta possa essere affermativa. Siamo partiti da dati che mostrano come alla base delle difficoltà sociali che caratterizzano i disordini dello spettro autistico (*si veda il box in questa pagina*) vi sia un malfunzionamento del cervello sociale. Studi che hanno usato la risonanza magnetica funzionale per vedere quali aree del cervello si attivano in risposta a determinate categorie di stimoli hanno dimostrato che gli stimoli sociali (volti, movimento biologico) non attivano le stesse aree cerebrali in adulti con autismo e in adulti sani. Nei soggetti sani gli stimoli sociali attivano specifiche aree corticali, come l'area fusiforme, specializzata per l'elaborazione dei volti, mentre nelle persone con autismo si attivano aree corticali che normalmente, nelle persone sane, si attiverebbero in risposta alla visione di oggetti. Questo dimostra che nelle persone con autismo gli stimoli sociali hanno lo stesso valore degli oggetti inanimati, diversamente dalle persone sane. Ecco perché lo studio del cervello sociale e delle sue origini è importante per la comprensione di queste patologie.

La nostra ricerca si è basata sull'osservazione di neonati ad alto rischio genetico di sviluppare disordini come l'autismo, cioè neonati che hanno un fratello o una sorella maggiore già diagnosticati per queste patologie e che hanno quindi maggiori probabilità di sviluppare un simile disturbo. Sono stati coinvolti nella ricerca anche neonati provenienti da una popolazione a basso rischio (ovvero che non avevano parenti stretti affetti dalla patologia). Entro il decimo giorno di vita, entrambi i gruppi di neonati hanno partecipato a identiche osservazioni comportamentali in cui erano presentate due immagini da osservare, per esempio una faccina schematica e una faccina schematica rovesciata a testa in giù, rilevando quanto a lungo ciascuna immagine era guardata. In questo modo è stato possibile verificare se i neonati dei due gruppi prestassero uguale attenzione agli stimoli sociali o di confronto.

I risultati sono stati chiari: in confronto al gruppo a basso rischio, i neonati ad alto rischio apparivano meno propensi a osservare gli stimoli sociali (l'immagine schematica di un volto e un movimento di tipo biologico, come quello di un animale che cammina) e più propensi a osservare gli stimoli non sociali (l'immagine del volto capovolto e un movimento casuale). Questo supporta l'ipotesi che un'anomalia delle predisposizioni sociali presenti tipicamente nei neonati, i mattoncini di cui si parlava, possa essere coinvolta nello sviluppo di patologie come l'autismo.

Questi risultati non solo accrescono la conoscenza sui meccanismi che guidano la specializzazione del cervello sociale nello sviluppo sia tipico sia atipico, ma, a livello pratico, se confermati in un più ampio numero di neonati, potrebbero rappresentare il primo passo verso la messa a punto di un protocollo di *screening* per l'individuazione precoce dei soggetti a rischio di autismo (normalmente diagnosticato intorno ai 3 anni).

Questo aprirebbe la strada a interventi riabilitativi mirati e precoci, attuabili durante i «periodi sensibili» nei quali il sistema nervoso è maggiormente predisposto al cambiamento. Alla luce di questi risultati appare chiaro come lo studio delle predisposizioni per il riconoscimento degli agenti animati, condivise da specie per altri versi così dissimili, possa rappresentare un ottimo punto di partenza per lo studio dello sviluppo del cervello sociale e delle sue patologie. ■

PER APPROFONDIRE

Spontaneous Preference for Visual Cues of Animacy in Naïve Domestic Chicks: the Case of Speed Changes. Rosa-Salva O. e Vallortigara G., in «Cognition», Vol. 157, pp. 49-60, dicembre 2016.

Filial Responses as Predisposed and Learned Preferences: Early attachment in Chicks and Babies. Di Giorgio E., Loveland J.L., Mayer U., Rosa-Salva O., Versace E., Vallortigara G., in «Behavioural Brain Research», pubblicato on line, 8 settembre 2016.

Difference in Visual Social Predispositions Between Newborns at Low- and High-risk for Autism. Di Giorgio E., Rosa Salva O., Scattoni M.L., Simion F. e Vallortigara G., in «Scientific Reports», Vol. 6, articolo n. 26395, 20 maggio 2016.

ANTROPOLOGIA

L'evoluzione dei miti

L'analisi del modo in cui cambiano le storie via via che sono narrate da una generazione all'altra fa luce sulla storia delle migrazioni umane indietro nel tempo fino al Paleolitico

di Julien d'Huy

Julien d'Huy è dottorando in storia all'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. Le sue ricerche interdisciplinari, effettuate in associazione con l'Institut des Mondes Africains, attingono alla teoria dell'evoluzione e alla costruzione di modelli computerizzati per l'analisi comparativa dei miti.

La versione greca di un mito familiare parte da Artemide, dea della caccia e fiera protettrice delle giovani donne innocenti. La dea chiede che Callisto, «la più bella», come le altre sue ancelle, faccia voto di castità. Zeus però carpisce con l'inganno la verginità di Callisto, che poi mette al mondo un figlio, Arcade. La dea Era, gelosa moglie di Zeus, muta allora Callisto in un'orsa e la esilia sui monti.

Nel frattempo Arcade cresce e diventa un cacciatore, e un giorno sorprende un'orsa che lo accoglie a braccia aperte. Non riconoscendo la madre, si appresta a scagliare la lancia, ma a salvare la situazione arriva Zeus, che trasforma Callisto nella costellazione dell'Orsa Maggiore e pone Arcade – l'Orsa Minore – non lontano da lei.

Si racconta poi tra gli Irochesi, negli Stati Uniti nord-orientali, di tre cacciatori che inseguono un orso; il sangue delle sue ferite arrossa le foglie della foresta autunnale. L'orso allora si arrampica su una montagna, e poi balza in cielo. Cacciatori e animale diventano, insieme, la costellazione dell'Orsa Maggiore. Per il popolo siberiano dei Ciukci la costellazione di Orione è un cacciatore che insegue una renna, Cassiopea. Per le tribù ugro-finniche della Siberia l'animale inseguito è un alce, e diventa l'Orsa Maggiore.

Anche se possono essere diversi animale e costellazione, la struttura base della storia è la stessa. Tutte queste saghe appartengono a una famiglia di miti, la «caccia cosmica», che si diffuse largamente in Africa, Europa, Asia e America fra popoli vissuti più di 15.000 anni fa. Tutte le versioni della caccia cosmica condividono un nucleo narrativo centrale: un uomo o un animale insegue o uccide uno o più animali, e alcune creature sono cambiate in costellazioni.

Folkloristi, antropologi, etnologi e linguisti si chiedono da tempo come mai certe complesse storie mitiche che emergono in culture ampiamente separate nello spazio e nel tempo siano incredibilmente simili. Negli ultimi anni è comparso un promettente approccio scientifico alla mitologia comparata, che riprende strumenti concettuali usati dai biologi per decifrare l'evoluzione delle specie viventi. Nelle mani di coloro che studiano i miti, il metodo, conosciuto come analisi filogenetica, consiste nel collegare le successive versioni di una storia mitica per costruirne una sorta di albero genealogico, che delinea l'evoluzione del mito nel tempo.

I miei studi filogenetici usano l'accresciuto rigore delle tecniche statistiche e dei modelli computerizzati mutuati dalla biologia per capire come e perché evolvono i miti e i racconti folklorici. Oltre alla caccia cosmica ho analizzato altre grandi famiglie di miti che condividono temi ed elementi narrativi ricorrenti. Le storie di Pigmalione descrivono un uomo che crea una statua e se ne innamora. Nel mito di Polifemo, un uomo rimane intrappolato nella caverna di un essere mostruoso e ne sfugge insinuandosi in un gregge di animali, sotto l'occhio vigile del mostro.

Queste ricerche forniscono nuove, convicenti prove del fatto che miti e racconti folklorici seguono i movimenti dei popoli nel mondo. Rivelano che certe storie risalgono probabilmente già al Paleolitico, quando gli esseri umani svilupparono i primi attrezzi di pietra, e si diffusero fuori dall'Africa con le prime ondate migratorie. I miei studi filogenetici danno anche indicazioni sulle origini stesse di questi miti, collegando storie orali e leggende trasmesse di generazione in generazione a motivi che appaiono nelle immagini dell'arte rupestre paleolitica. La mia speranza, in definitiva, è che il tentativo di identificare i proto-miti preistorici che sto portando avanti possa anzi aprirci uno spiraglio sull'universo mentale dei nostri antenati, al tempo in cui *Homo sapiens* non era l'unica specie umana sulla Terra.

Sul sentiero della caccia cosmica

Carl Jung, padre fondatore della psicologia analitica, credeva che i miti compaiano in forme simili in culture diverse perché emergono da una zona della mente chiamata «inconscio collettivo». «I miti sono in primo luogo fenomeni psichici che rivelano la natura dell'anima», sostenne Jung. Ma la diffusione delle storie legate alla caccia cosmica attorno al mondo non si può spiegare con una struttura psichica universale. Se così fosse, infatti, dovrebbero venire fuori ovunque. Invece sono quasi assenti in Indonesia e Nuova Guinea e molto rare in Australia, ma presenti su entrambe le sponde dello Stretto di Bering, che secondo prove geologiche e archeologiche tra il 28.000 e il 13.000 a.C. era un ponte di terre emerse. L'ipotesi di lavoro più credibile è che gli antenati eu-

IN BREVE

Da tempo gli studiosi si chiedono perché le storie mitiche che affiorano in culture ampiamente separate nel tempo e nello spazio siano tanto simili tra loro.

Nuovi modelli di ricerca sfruttano strumenti concettuali e statistici tratti dalla biologia evoluzionistica per sbrogliare la storia dei miti.

Gli alberi filogenetici rivelano che le «specie» dei miti evolvono lentamente, in parallelo con le migrazioni di massa degli esseri umani fuori dall'Africa e nel mondo intero.

Recenti studi danno elementi utili a ricostruire le origini preistoriche di alcuni miti e le migrazioni di gruppi umani eurasiatici verso il Nord America, più di 15.000 anni fa.

Illustrazione di Jon Foster (*pagine precedenti*)

rasiatici dei primi americani abbiano portato con sé questa famiglia di miti.

Per testare questa ipotesi ho creato un modello filogenetico. I biologi usano l'analisi filogenetica per studiare le relazioni evolutive tra le specie, costruendo diagrammi ramificati, «ad albero», che rappresentano i rapporti di ascendenza comune in base ai tratti condivisi. Le storie mitiche sono un ottimo materiale per questo genere di analisi perché, come le specie biologiche, si evolvono gradualmente, con un nucleo narrativo che nel tempo acquista nuove elementi e altri ne perde, via via che si diffonde da una regione all'altra.

Nel 2012 ho costruito un primo schematico modello basato su 18 versioni del mito della caccia cosmica raccolte e pubblicate da antropologi e studiosi del folklore. Ho convertito ciascuno dei racconti mitologici in una serie di elementi narrativi discreti, o «mitemi», prendendo in prestito il termine del compianto antropologo strutturalista francese Claude Lévi-Strauss. Analogamente ai geni, i mitemi sono caratteri ereditabili delle «specie» narrative, che sono trasmessi da una generazione all'altra e cambiano lentamente. Fra i mitemi della caccia cosmica vi sono, per esempio: una donna che infrange un tabù; una divinità che ferma un cacciatore; un dio che trasforma un animale in una costellazione. La mia analisi iniziale dava una banca dati di 44 mitemi. Per ciascuna versione della storia ho poi codificato i mitemi come 1 (presente) o 0 (assente) e applicato una serie di algoritmi statistici per seguire schemi evolutivi e tracciare alberi genealogici. Nel 2013 ho espanso il modello fino a includere 47 versioni della storia e 93 mitemi. Infine ho usato tre banche dati separate per applicare algoritmi diversi e sottoporre i risultati a controllo incrociato.

Come le specie biologiche, anche i miti si evolvono, con un nucleo narrativo che nel tempo acquista e perde elementi

Uno dei più aggiornati alberi filogenetici della caccia cosmica (*si veda il box a p. 68*) suggerisce che questa famiglia di miti sia giunta nelle Americhe in più momenti diversi. Un ramo dell'albero collega la versione greca del mito con quella algonchina. Anche un altro ramo indica un passaggio attraverso lo Stretto di Bering, e poi prosegue verso le terre degli esquimesi e l'America nord-orientale, forse in due ondate separate. Altri rami ancora fanno pensare che alcune versioni del mito si siano diffuse, più tardi delle altre, dall'Asia verso Africa e Americhe.

Una mitica metamorfosi

I biologi evolutivi hanno osservato che la maggior parte delle specie non cambia molto per la maggior parte delle loro storie. Quando avviene, il cambiamento evolutivo più significativo è generalmente concentrato in eventi assai rapidi di speciazione e divergenza: si parla di equilibri punteggiati. Lo stesso sembra essere vero per i miti. Quando le versioni imparentate di un mito divergono rapidamente per colli di bottiglia dovuti alle migrazioni o per sfide portate da popolazioni rivali o nuove influenze ambientali o culturali, a ciò poi fanno seguito estesi periodi di stabilità.

Nel complesso le strutture dei racconti mitici, che a volte rimangono invariate per migliaia di anni, seguono con stretto parallelismo la storia dei grandi movimenti migratori umani. È un po' ironico, ma l'analisi filogenetica rivela che una delle più incantevoli storie di trasformazione improvvisa – quella di Pigmalione – è un esempio primario di questo stabile schema evolutivo.

Pigmalione, raccontano i Greci, scultore cipriota di bell'aspetto, disdegna di accompagnarsi alle donne dell'isola, relegate a una vita di prostituzione senza amore per aver mancato di pagare il giusto omaggio ad Afrodite, dea dell'amore e protettrice dell'isola. Datosi interamente alla sua arte, Pigmalione cesella la statua d'avorio di una donna, a cui dà nome Galatea (o «amore dormiente»). La riveste di vesti sontuose e gioielli, la bacia, la accarezza, parla con essa ogni giorno. Durante una festa in onore di Afrodite, Pigmalione si reca al tempio della dea, sacrifica un toro e prega che gli sia concessa una sposa identica alla sua amata statua. Quando torna a casa e bacia Galatea sente, stupefatto, il calore di un corpo vivente. Afrodite le ha donato la vita.

Il poeta romano Ovidio immortalò questo racconto popolare greco nelle sue *Metamorfosi*, ispirando poi innumerevoli scrittori, drammaturghi e artisti.

Le mie ricerche suggeriscono che l'evoluzione del mito di Pigmalione abbia seguito una migrazione umana dalle regioni nord-orientali a quelle meridionali dell'Africa che secondo precedenti studi genetici avvenne circa 2000 anni fa. Nei racconti popolari di varie tribù situate lungo questo percorso, un uomo intaglia l'immagine di una donna e se ne innamora; e la bambola prende vita e sposa il maestro artigiano. Secondo i Venda del Sudafrica, un uomo scolpisce una donna di legno. Dopo che ha preso vita, il capotribù cerca di rapirla; lo scultore resiste e la getta a terra, e la donna ritorna legno.

Un albero filogenetico che ho costruito usando come punti di partenza la versione greca del mito di Pigmalione e quella proveniente dai Bara del Madagascar ha dato risultati molto interessanti. Il mito greco e quello dei Bara si riflettono strutturalmente l'uno nell'altro, malgrado presentino la massima separazione geografica fra tutte le storie inserite nel modello computerizzato. In più, i Bara si sono insediati in un'isola che non permetteva né grande espansione della popolazione né forte diversificazione dei miti, e i Greci sono rimasti isolati, per gran parte della loro storia, dall'esposizione ai racconti popolari africani. Malgrado ciò, sia la versione dei Bara sia quella greca di questo mito presentano notevoli somiglianze con una più antica versione delle tribù berbere del Sahara.

Analisi statistiche ed empiriche fanno pensare che la storia dei Greci e quella dei Bara preservino probabilmente una versione della saga di Pigmalione originatasi fra i Berberi tra 3000 e 4000 anni fa, in cui sembra contenuta una versione assai antica del mito: un uomo scolpisce una statua da un tronco d'albero per alleggerire la sua solitudine; lui stesso, o un altro uomo, la abbiglia; la statua prende vita, grazie a una divinità, e diventa una bellissima donna; che poi diviene la moglie del suo creatore, malgrado anche un altro desideri sposarla. Il vero proto-mito, naturalmente, era probabilmente ricco e complesso come le versioni su cui si basa questa ricostruzione.

Il mostro nella spelonca

In passato gli studiosi di mitologia comparata si basavano in gran parte sull'intuizione e l'elaborazione manuale delle informazioni, il che limitava sia la vastità sia il livello di dettaglio del lavoro che potevano svolgere. Con l'analisi filogenetica assistita da computer, ora possiamo verificare l'impatto dei prestiti mitologici tra i diversi gruppi culturali. Possiamo creare banche dati vaste e flessibili che incorporano il patrimonio di osservazioni empiriche raccolto dagli studiosi negli anni. E possiamo espandere que-

La decostruzione dei miti

I miti della caccia cosmica, in cui certe costellazioni sono viste come animali inseguiti da cacciatori, sono comuni in Eurasia e nelle Americhe. La mitologia comparata studia le sorprendenti somiglianze e le sottili variazioni dei miti di culture disperse su vaste aree mediante strumenti analitici sviluppati dai biologi evolutivi. Innanzitutto scompongono una particolare «specie» di narrazioni mitiche in piccoli blocchi costitutivi analoghi ai geni: i «mitemi». Poi registrano fattori come la frequenza degli elementi in varie storie (*sotto*). Un'analisi al computer degli elementi simili può rivelare quali sono le versioni più antiche, e in che modo le storie di base sono cambiate nel tempo e nello spazio. I mitemi qui descritti sono gli elementi costitutivi di molti racconti di caccia cosmica collegati all'Orsa Maggiore, all'Orsa Minore, a Orione e alle Pleiadi.

UNA LINEA NARRATIVA COMUNE
Il cammino evidenziato dalla linea tratteggiata azzurra illustra un mito degli indiani Lenape degli Stati Uniti nord-orientali, che narra di come la costellazione dell'Orsa Maggiore prese la forma di un orso. La leggenda dei Lenape ha parecchi mitemi in comune con diversi miti di caccia cosmica preservati da altri gruppi culturali in Eurasia e nelle Americhe, come: lo zoema è un grosso mammifero (*1*); gli inseguitori si trovano o arrivano in cielo (*29*); al momento in cui viene trasformato in costellazione l'animale è vivo (*49*); una delle principali costellazioni della storia è il Grande Carro (*86*).

Fonte: *A Cosmic Hunt in the Berber Sky: a phylogenetic Reconstruction of Palaeolithic Mythology*, di Julien d'Huy, in «Les Cahiers de L'aars», n. 16, 2013

COME LEGGERE QUESTA FIGURA

Ciascuno degli 88 circoli nell'illustrazione rappresenta uno dei mitemi (elementi narrativi) della caccia cosmica definiti dall'autore. Qui sotto abbiamo approssimativamente ordinato i mitemi (elencati più in dettaglio a destra) in categorie generali: zoemi (animali) (□), dettagli dell'inseguimento (╲), trasformazioni di animali e inseguitori (○), e manifestazione della storia in specifiche costellazioni [+].

Dimensioni e opacità dei circoli indicano in quante storie – da 1 a 43 – compare il mitema.

1 43

Le linee collegano i mitemi che compaiono insieme nelle storie.

I colori degli anelli indicano le regioni geografiche associate ai racconti i cui compare ciascun mitema. Il mitema qui accanto, per esempio, compare in tre storie, una proveniente dalla Guiana (*arancione*) e due dall'Asia (*verde chiaro*).

- Africa
- America: costa-altopiano/British Columbia
- America: Gran bacino/Grande sud-ovest
- America nord-orientale
- Asia
- Artico
- Regione basca
- Grecia
- Guiana

□ 1 – Lo zoema è un grosso mammifero
□ 2 – Lo zoema è un erbivoro
□ 3 – Lo zoema è un carnivoro
□ 4 – Lo zoema è un animale cornuto
□ 5 – Lo zoema è un ungulato
□ 6 – Lo zoema è una martora
□ 7 – Lo zoema è un orso
□ 8 – Lo zoema è un wapiti
□ 9 – Lo zoema è una renna
□ 10 – Lo zoema è un cervo
□ 11 – Lo zoema è un alce
□ 12 – Lo zoema è un cammello
□ 13 – Lo zoema è una pecora di montagna
□ 14 – Lo zoema è un'antilope
□ 15 – Lo zoema è una zebra
□ 16 – Lo zoema è un maiale
□ 17 – Lo zoema è un bue
□ 18 – Lo zoema è un tapiro
□ 19 – Lo zoema è la madre dell'inseguitore, che è stata trasformata in un'orsa
□ 20 – Lo zoema è un animale a sei zampe
□ 21 – Lo zoema è un animale domestico
□ 22 – C'è un solo animale
□ 23 – Ci sono quattro animali
□ 24 – Ci sono sette animali
□ 25 – Ci sono due animali
□ 26 – Ci sono tre animali
□ 27 – Le Pleiadi sono un animale
□ 28 – Gli animali sono associati al loro proprietario
╲ 29 – Gli inseguitori si trovano o arrivano in cielo
╲ 30 – C'è un inseguitore
╲ 31 – Ci sono due inseguitori
╲ 32 – Ci sono cinque inseguitori
╲ 33 – Ci sono tre, o almeno tre, inseguitori
+ 34 – Orione è un inseguitore
╲ 35 – Ci sono sette inseguitori
+ 36 – La spada di Orione è un'inseguitrice
╲ 37 – Una donna infrange un tabù
╲ 38 – Lo zoema cattura il Sole
╲ 39 – Un animale è punito per il suo orgoglio
╲ 40 – Un uomo scende da solo dal cielo sulla Terra e distrugge la via di accesso al cielo
╲ 41 – Un essere divino ferma il cacciatore
╲ 42 – La caccia prosegue fino all'autunno
+ 43 – Le Iadi sono selvaggina
+ 44 – Betelgeuse è selvaggina
+ 45 – Cassiopea è selvaggina
╲ 46 – Gli inseguitori sono cani
╲ 47 – Gli inseguitori sono membri della stessa famiglia
╲ 48 – Un animale insegue un animale che insegue un animale
○ 49 – Quando viene trasformato in costellazione o posto in cielo l'animale è vivo
○ 50 – Quando viene trasformato in costellazione l'animale è morto
○ 51 – Un uomo trasforma in stelle i suoi fratelli
○ 52 – I cacciatori diventano stelle a causa di un parente
○ 53 – Un dio trasforma una ninfa in un'orsa
○ 54 – Un dio trasforma un animale in una costellazione
○ 55 – Il cane è trasformato in una stella
+ 56 – Ognuno degli animali è trasformato in una stella del Grande Carro
+ 57 – Le Pleiadi sono cacciatori
+ 58 – Le tre stelle della Cintura di Orione sono interpretate come tre animali
+ 59 – Membri della stessa famiglia diventano l'Orsa Maggiore e l'Orsa Minore
+ 60 – Un animale diventa una stella del Grande Carro
+ 61 – Due animali diventano due stelle del Grande Carro
+ 62 – Quattro animali diventano quattro stelle del Grande Carro
+ 63 – Sette animali formano sette stelle del Grande Carro
+ 64 – Le tre stelle della Cintura di Orione sono interpretate come un unico animale
+ 65 – Le tre stelle della Cintura di Orione sono interpretate come tre inseguitori
+ 66 – Una delle stelle vicine a Orione è una spada scagliata dal cacciatore per colpire gli animali
○ 67 – Grasso o sangue gocciola dal corpo dell'animale sulla Terra e diventa qualcos'altro
○ 68 – Il grasso diventa melata
○ 69 – Il sangue che gocciola dall'animale tinge il fogliame autunnale
+ 70 – I cacciatori sono il timone del Grande Carro
○ 71 – Il grasso diventa neve
+ 72 – I cacciatori formano sette stelle del Grande Carro
+ 73 – L'animale forma quattro stelle del Grande Carro
+ 74 – I cacciatori formano cinque stele del Grande Carro
+ 75 – Arti tagliati sono stelle visibili d'inverno
+ 76 – L'animale forma il Grande Carro
+ 77 – Il Grande Carro è un disegno
+ 78 – Tre stelle sono l'ombra dell'animale
+ 79 – Alcor è un cane
+ 80 – Alcor è un oggetto
+ 81 – Alcor è una freccia
+ 82 – Alcor è un coltello
+ 83 – Alcor è una pentola
╲ 84 – L'eroe è l'origine del calore
╲ 85 – L'animale cosmico è colpito da un dardo o da una freccia
+ 86 – Una delle costellazioni principali della storia è il Grande Carro
+ 87 – Una delle costellazioni principali della storia è Orione
+ 88 – Una delle costellazioni principali della storia è quella delle Pleiadi

55 – Il cane è trasformato in una stella
57
64
Mito Lenape
65
70 – I cacciatori sono il timone del Grande Carro
74
79 – Alcor è un cane
85 – L'animale cosmico è colpito da un dardo o da una freccia
66 – Una delle stelle vicine a Orione è una spada lanciata dal cacciatore per colpire gli animali
84
80 – Alcor è un oggetto
81
52 – I cacciatori diventano stelle a causa di un parente
75
67
68
82
83
53
58 – Le tre stelle della Cintura di Orione sono interpretate come tre animali
69
86 – Una delle principali costellazioni della storia è il Grande Carro
54
73 – L'animale forma quattro stelle del Grande Carro
59
87 – Una delle principali costellazioni della storia è Orione
60
56
71 72
61
77
78
88 – Una delle principali costellazioni della storia è quella delle Pleiadi
62
63
76 – L'animale forma il Grande Carro

Grafica di Accurat

ste banche dati per inserirvi nuove versioni delle storie e sottoporre i precedenti risultati a nuove verifiche.

Nel 2012 ho costruito un primo modello per lo studio filogenetico del mito di Polifemo, basato su 24 versioni di questa storia provenienti da Europa e Nord America, e 79 mitemi. In seguito ho allargato il campione fino a includere 56 versioni e 190 mitemi, attingendo a una varietà di precedenti studi pubblicati in inglese, francese, tedesco e italiano. Ho inoltre costituito tre banche dati separate e applicato algoritmi evoluzionistici e statistici diversi per la calibrazione e il controllo incrociato dei risultati.

Polifemo, con un occhio solo e divoratore di uomini, figlio mostruoso di Poseidone dio del mare, fa una spettacolare apparizione nell'*Odissea* di Omero. Quando Odisseo approda in cerca di cibo all'isola dei Ciclopi, con 12 dei suoi uomini penetra furtivamente nella caverna di Polifemo. Il gigante rientra dal pascolo con le sue pecore, sbarra l'uscita e divora quattro dei compagni di Odisseo, per poi andarsene il mattino dopo a far pascolare il gregge. La sera, dopo che Polifemo ha mangiato altri due dei suoi, Odisseo lo fa ubriacare offrendogli vino non diluito. Polifemo domanda il nome del suo generoso ospite, e Odisseo risponde: «Nessuno». Quando poi il ciclope si addormenta, Odisseo lo acceca con un palo appuntito indurito nel fuoco. Polifemo grida e chiede aiuto, ma quando arrivano gli altri ciclopi e gli chiedono chi lo abbia accecato risponde: «Nessuno». Odisseo intanto, con i compagni rimanenti, sfugge aggrappandosi sotto il ventre delle pecore del mostro quando questi le fa uscire al pascolo.

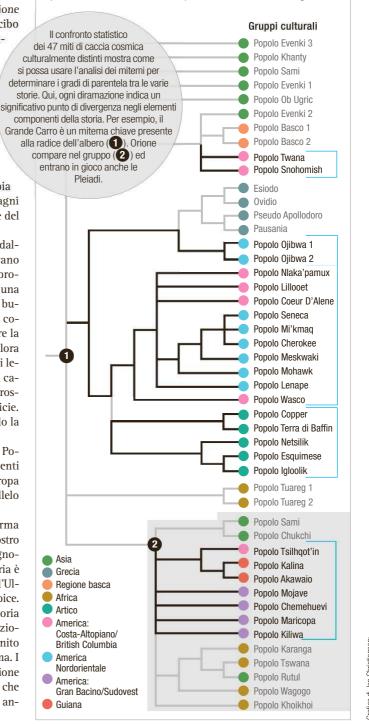
Gli Indiani Piedi Neri, una tribù algonchina che dipendeva dalla caccia al bufalo per procurarsi cibo a sufficienza, narravano di generazione in generazione una storia affine. Corvo, l'imbroglione, che è sia uomo che uccello, nasconde in una caverna una mandria di bufali. Viene infine catturato e collocato sopra il buco che permette l'uscita del fumo da una tenda, il che spiega come mai da allora i corvi sono neri. Corvo promette di liberare la mandria. Ma non mantiene la promessa. Due eroi cacciatori allora si trasformano, l'uno in una bambola e l'altro in un bastone di legno, e la figlia di Corvo raccoglie i due oggetti e li porta nella caverna. Qui i due cacciatori si trasformano ancora, uno in un grosso cane, l'altro in un uomo, per riportare i bufali alla superficie. Ed eludono Corvo celandosi sotto la pelle di un bufalo quando la mandria esce alla carica dalla caverna.

Un albero filogenetico composito della famiglia dei miti di Polifemo indica che la storia ha seguito due principali andamenti migratori: il primo, in epoca paleolitica, diffuse il mito in Europa e in Nord America. Il secondo, nel Neolitico, è andato in parallelo con la proliferazione dell'allevamento del bestiame.

Una versione della storia di Polifemo conservatasi in forma schematica in Svizzera ne preserva forse un'antica forma: il mostro è un nano con un occhio solo incontrato da un cacciatore, signore delle bestie di una montagna; ma questa versione della storia è scomparsa, probabilmente con l'avanzare dei ghiacci durante l'Ultimo massimo glaciale, che circa 21.500 anni fa raggiunse l'apice. In seguito sembra essersi diffusa una nuova versione della storia in cui il mostro abita in un rifugio, grazie a successive migrazioni dalle aree del Caucaso e del Mediterraneo che avevano fornito riparo per persone e altre specie animali dall'inasprirsi del clima. I collegamenti dell'albero filogenetico fanno pensare che la versione omerica di Polifemo abbia poi portato a una tradizione orale che ha avuto una diffusione indipendente in molti gruppi, come gli antenati dei popoli delle moderne Ungheria e Lituania.

GENEALOGIA DEI MITI

Albero genealogico

L'analisi delle variazioni del mito della caccia cosmica con vari modelli statistici rivela che i primi esseri umani che hanno popolato le Americhe portarono con sé queste storie quando attraversarono il ponte terrestre dell'attuale Stretto di Bering, partendo dalla Siberia, oltre 15.000 anni fa. In questo modello, le diramazioni indicano come le varie versioni del mito siano passate di generazione in generazione e da un gruppo culturale all'altro nel corso di quattro successive ondate migratorie.

Grafica di Jen Christiansen; fonte: Julien D'huy

Alla ricerca dei proto-miti ancestrali

Le ricostruzioni filogenetiche delle storie di Polifemo e della caccia cosmica sono basate su decenni di ricerche di studiosi che hanno lavorato prima di tutto su versioni orali e scritte di racconti popolari e leggende. I modelli attuali incorporano inoltre osservazioni empiriche di motivi mitici nell'arte rupestre preistorica. Le similarità tra certi motivi dell'arte rupestre e le storie ricostruite aprono una nuova finestra sull'universo mentale dei primi esseri umani che migrarono nel Nuovo Mondo attraverso lo Stretto di Bering tra 15.000 e 30.000 anni fa.

Nel mito di Polifemo, come molto probabilmente lo sentiva narrare il suo originario pubblico, un cacciatore si trova di fronte uno o più mostri che possiedono una mandria di animali selvatici. Entrato nel luogo in cui il mostro tiene gli animali, trova sbarrata da un ostacolo insuperabile la strada per uscirne. Il mostro cerca di ucciderlo, ma l'eroe riesce a sfuggirgli aggrappandosi sotto il ventre di un animale.

Questo proto-mito – rivelato da tre banche dati filogenetiche separate, metodi statistici e dati etnologici indipendenti – riflette la credenza diffusa fra le antiche culture di un padrone degli animali che li tiene celati in una caverna e il bisogno di un intermediario che li liberi. Ciò potrebbe anche far parte di una concezione paleolitica in cui la selvaggina emerge da un mondo sotterraneo.

Nella grotta di Trois-Frères, nei Pirenei francesi, frequentata nel corso del Paleolitico superiore, su una parete si vede una piccola creatura con testa di bisonte e corpo umano, con quello che sembra un piccolo arco. Perso in mezzo a una mandria di bisonti, un altro animale, simile a un bisonte, volge il capo verso l'ibrido semi-umano, e fra le due creature corrono gli sguardi. Esaminandola più attentamente, la coscia posteriore sinistra del «bisonte» non è di un ruminante: è di dimensioni più ridotte, come di una coscia umana, al punto che l'archeologo André Leroi-Gourhan la prese per una silhouette umana. In più, l'artista ne ha meticolosamente tracciato ano e orifizio vulvare. Questi due elementi si possono confrontare con versioni amerindie della storia di Polifemo, in cui l'uomo si nasconde nell'animale entrandogli nell'ano.

La prima versione della caccia cosmica, l'antenata di tutte le narrazioni della storia di Callisto, ricostruita partendo da tre banche dati diverse, doveva andare così: un uomo insegue un ungulato; la caccia si svolge, o termina, in cielo; l'animale è ancora vivo quando viene mutato in una costellazione; e la costellazione è quella che noi oggi chiamiamo Orsa Maggiore.

Questa ricostruzione della caccia cosmica potrebbe spiegare la famosa «scena del pozzo» paleolitica trovata in una grotta a Lascaux, in Francia. La misteriosa macchia nera vicina al garrese del bisonte sarebbe così una stella. La staticità dell'animale, che non dà in realtà l'impressione di star caricando, avrebbe senso se rappresentasse una costellazione e non un'azione. Inoltre secondo alcuni esperti l'uomo potrebbe essere in piedi e il bisonte potrebbe essere in ascesa, il che riecheggia l'ascesa al cielo dell'animale proto-mitico. Infine, le macchie nere sul terreno sotto il bisonte richiamano le foglie autunnali macchiate del sangue dell'animale.

Ricollegare una storia mitica a un'immagine paleolitica è problematico. Questi esempi servono semplicemente a illustrare la portata interpretativa del metodo filogenetico, che permette di proporre idee plausibili e recuperare storie da tempo svanite.

Si spera di poter risalire alle prime fasi del Paleolitico e far luce sulle interazioni tra *Homo sapiens* e specie umane estinte

Dragoni e serpenti primigeni

La mia corrente di ricerca conferisce credibilità della teoria dell'Out of Africa sulle origini umane, secondo cui gli esseri umani anatomicamente moderni hanno avuto origine in Africa e da qui si sono diffusi nel resto del mondo. E completa gli studi filogenetici dei biologi secondo cui la prima grande ondata migratoria umana irradiatasi dall'Africa ha seguito la costa meridionale dell'Asia, popolando l'Australia circa 50.000 anni fa e raggiungendo poi l'America a partire dall'Asia orientale. Sia le ricerche biologiche sia quella sui miti individuano poi una seconda migrazione che ha raggiunto il Nord America più o meno nello stesso periodo partendo dall'Eurasia settentrionale.

Di recente ho costruito un «super-albero» filogenetico per seguire l'evoluzione dei miti del serpente e del drago che emersero durante le prime ondate migratorie. Una proto-narrazione, con tutta probabilità precedente all'esodo dall'Africa, ha nel suo nucleo i seguenti elementi narrativi: mitici serpenti custodiscono fonti d'acqua, e rilasciano l'acqua solo a certe condizioni. Possono volare e formare l'arcobaleno. Sono giganteschi, e hanno corna, semplici o ramificate, sulla testa. Possono produrre piogge e temporali. I rettili, immortali come altri esseri che cambiano pelle o corteccia e in questo modo ringiovaniscono, sono, all'opposto degli uomini, mortali, e/o sono considerati responsabili dell'origine della morte, forse con il morso. In questo contesto, una persona in circostanze disperate si trova a osservare come un serpente o un altro piccolo animale resuscita o guarisce se stesso o altri animali; e usa lo stesso rimedio, con successo. Ho messo insieme questo proto-mito partendo da cinque banche dati separate, variando sia la definizione di serpente/drago sia le unità di analisi, come le singole versioni di racconti dello stesso genere, i tipi di serpente o drago, e le aree culturali o geografiche.

Alla fine spero di risalire ancora più indietro nel tempo e identificare storie mitiche che potrebbero gettare qualche luce sulle interazioni avvenute nelle prime fasi del Paleolitico tra i primi *Homo sapiens* e altre specie umane poi estinte. I biologi evolutivi hanno identificato possibili incroci con Neanderthal, denisovani e forse anche con altri esseri umani arcaici. Inoltre potrebbero esserci stati anche scambi di materiali e prestiti linguistici e mitologici. Un obiettivo più immediato è espandere e raffinare il super-albero filogenetico dei miti del Paleolitico che si sta delineando. Un super-albero che già include storie del Sole datore di vita come grande mammifero e di donne come primordiali custodi di santuari di sacra sapienza. ■

PER APPROFONDIRE

A Cosmic Hunt in the Berber Sky: A Phylogenetic Reconstruction of Palaeolithic Mythology. D'Huy J., in «Les Cahiers de l'AARS», n. 16, pp. 16, 93-106, 2013.

A Phylogenetic Approach of Mythology and Its Archaeological Consequences. D'Huy J., in «Rock Art Research», Vol. 30, n. 1, pp. 115-118, maggio 2013.

Polyphemus, a Paleolithic Tale? D'Huy J., in «The Retrospective Methods Network Newsletter», n. 9, pp. 43-64, inverno 2014-2015.

Première Reconstruction Statistique d'un Rituel Paléolithique: Autour du Motif du Dragon. D'Huy J., in «Nouvelle Mythologie Comparée/New Comparative Mythology», n. 3, pubblicato on line il 18 marzo 2016.

La catena di Sant'Antonio e l'evoluzione della specie. Bennett C.H., Li M. e Ma B., in «Le Scienze» n. 419, luglio 2003.

AGRICOLTURA

La fabbrica superbatteri

dei

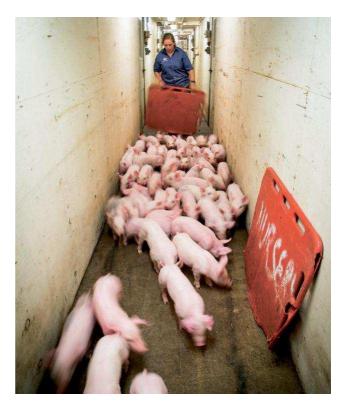
Batteri che diventano resistenti ad antibiotici in allevamenti di bestiame pongono un rischio mortale per le persone

di Melinda Wenner Moyer

Melinda Wenner Moyer è giornalista scientifica e collabora spesso con «Scientific American» e «Scientific American Mind».

Solo quando un maiale mi ha dato un'amichevole spinta con il naso al posteriore ho trovato il coraggio di toccarne uno. Nelle ultime 18 ore avevo visto migliaia di suini, ma mi ero sempre tenuta nervosamente le mani in tasca. Quell'animale però sembrava disapprovare la mia ritrosia. Così gli ho dato una bella grattata sul cucuzzolo rosa e peloso. Lui ha risposto con un sonoro starnuto.

Mi trovavo nell'acre e affollato porcile di una fattoria di Frankfort, in Indiana, un tranquillo centro agricolo circa 70 chilometri a nord-ovest di Indianapolis. Al mio fianco c'era Mike Beard, il proprietario della fattoria, che ogni anno alleva 30.000 capi. Gli animali non appartengono a Beard, sono di TDM Farms, azienda che alleva suini su grande scala. Il contratto di Beard prevede che allevi i maiali di TDM da quando hanno 14 giorni, appena svezzati dal latte materno, fino ai sei mesi, quando sono prelevati e trasportati in un impianto per la lavorazione della carne e trasformati in cotolette, salsicce e filetti. Il porcile di 12-metri-per-60 ospita 1100 animali. Beard è pagato per lo spazio che fornisce anziché per numero di maiali, quindi «va tutto a vantaggio della compagnia tenere gli edifici il più pieni possibile», mi ha spiegato. Alle 19.30 un autoarticolato avrebbe consegnato altri 400 maialini che, in base ai piani di Beard, non appena sistemati avrebbero ricevuto mangime con antibiotici approvato da TDM, necessario per restare in salute nella loro casa affollata e ricoperta di letame. Gli antibiotici aiutano anche gli animali da allevamento a crescere più in fretta con meno cibo, quindi il loro consumo è da tempo uno dei pilastri dell'allevamento industriale.

Questa pratica ha però un terrificante aspetto negativo, che è la ragione per cui ho esitato a toccare il porcellino che voleva essermi amico. Sembra che gli antibiotici stiano trasformando innocenti animali d'allevamento in fabbriche di malattie. Gli animali diventano fonte di microrganismi letali, come *Staphylococcus aureus* resistente alla meticillina (MRSA), un batterio resistente a diverse classi principali di antibiotici; dagli animali, i germi si diffondono nell'aria, nei terreni coltivabili, nei nostri piatti e nei nostri ospedali. È possibile che inizialmente i farmaci funzionino negli allevamenti, tuttavia qualche microrganismo con i geni che causano resistenza può sopravvivere e trasmettere la capacità di neutralizzare la sostanza a un gruppo di germi più ampio. Un recente studio ha mostrato che segmenti di DNA che conferiscono resistenza ai farmaci possono saltare con disarmante facilità da un ceppo di batteri a un altro: una scoperta allarmante. Alcuni ricercatori hanno individuato microbi farmaco-resistenti nell'aria dell'abitacolo della loro automobile dopo averla solamente condotta dietro a un camion per il trasporto del pollame. All'inizio del 2016 un gruppo di scienziati ha scoperto che un gene che codificava per la resistenza a un antibiotico considerato ultima risorsa nella lotta alle infezioni era diffuso negli Stati Uniti, e presente in un batterio che aveva infettato una donna in Pennsylvania.

A stretto contatto. Nella fattoria di Keith Schoettmer, in Indiana, una folla di maialini appena svezzati è spinta verso la loro nuova casa.

Molti ricercatori sono preoccupati, e le nuove scoperte hanno aggiunto nuova urgenza alle loro preoccupazioni, che l'uso abbondante di antibiotici nelle fattorie sta mandando a rotoli la nostra capacità di curare le infezioni batteriche. Quest'ultima ricerca, affermano ora gli scienziati, mostra che la resistenza ai farmaci si può diffondere più facilmente e in modo più ampio – e a più ceppi batterici – di quanto avessero immaginato, e rafforza legami nella catena della farmaco-resistenza che va dalle fattorie animali alla nostra tavola. Nel 2014 le case farmaceutiche hanno venduto quasi 10 milioni di chilogrammi di antibiotici importanti per la medicina umana affinché fossero usati su animali da carne, oltre tre volte la quantità venduta per l'uso sull'uomo. Spogliati del po-

IN BREVE

Gli antibiotici sono usati più negli allevamenti di animali che nelle persone. Questa abitudine può essere la più grande fonte dello sviluppo di batteri antibiotico-resistenti.

Nuove scoperte hanno mostrato che i geni di resistenza ai farmaci si diffondono di più e più velocemente di quanto gli scienziati abbiano mai pensato.

Per l'industria agroalimentare si tratta di timori eccessivi. i ricercatori al contrario sostengono che le aziende stanno mettendo in pericolo la salute pubblica.

Fotografie di Patrick Cavan Brown

Produzione di carne. Un maiale maschio non castrato, o verro, viene trasportato su un carrello in un'area della fattoria di Schoettmer adibita alle scrofe. La sua vista e il suo odore eccitano le femmine, preparandole all'inseminazione artificiale.

tere protettivo dei farmaci, quelli che oggi sono banali fastidi per la salute – otiti, tagli, bronchiti – diverranno domani potenziali condanne a morte.

Eppure l'industria zootecnica ritiene che si tratti di timori enormemente gonfiati. L'idea che gli antibiotici «negli animali siano direttamente legati a un rischio per la salute dell'uomo, crediamo, è stata decisamente ingigantita», sostiene Richard Carnevale, vicepresidente del settore per le attività normative, scientifiche e internazionali dell'Animal Health Institute, un gruppo commerciale che rappresenta le aziende farmaceutiche veterinarie. Insieme ad altri rappresentanti del settore, Carnevale sottolinea come i ricercatori non abbiano dimostrato direttamente che l'uso di antibiotici negli allevamenti stia generando più infezioni resistenti nell'essere umano. Molte infezioni resistenti ai farmaci che circolano oggi in ambiente ospedaliero non sono mai state collegate ad allevamenti o carni animali.

Gli scienziati ribattono che è l'industria zootecnica a ingrandire, addirittura ingegnerizzare, l'incertezza scientifica per proteggere i propri interessi. «Mi ricorda l'industria del tabacco, quella dell'amianto e quella del petrolio», afferma James Johnson, medico esperto in malattie infettive all'Università del Minnesota che studia patogeni resistenti agli antibiotici. «Abbiamo una lunga storia di industrie che minano la salute pubblica». Con altri ricercatori ammette che collegare tutti i puntini è difficile, ma l'industria agroalimentare, dichiara, aumenta deliberatamente le difficoltà. Sostenendo la necessità di tenere gli animali lontani da estranei e dalle loro malattie, alcune grandi aziende produttrici di carne impongono ai loro allevatori di allontanare i ricercatori, rendendo impossibile agli scienziati consolidare quanto scoprono. Come mi ha raccontato Tara Smith, epidemiologa che studia nuove infezioni alla Kent State University, le aziende «vogliono che dimostriamo ogni singolo passo, ma in pratica ci stanno legando le mani».

Mi sono recata all'allevamento di Beard, e in altri due, alla ricerca di informazioni su costi e benefici. Ho deciso di seguire le orme degli scienziati che hanno cercato di ricostruire la resistenza agli antibiotici lungo la strada che dalle fattorie porta il cibo nei nostri piatti per capire se maiali, mucche, polli o tacchini cresciuti con antibiotici possano davvero condurre all'apocalisse – oppure se questi animali dall'aspetto innocente, e i miliardi di batteri che brulicano nei loro corpi, siano in realtà innocui.

Maiali protetti

Diciotto ore prima avevo attraversato i cancelli di Schoettmer Prime Pork di Tipton, in Indiana, e non ero stata accolta dalla vista dei maiali o dal pungente odore di letame, ma da un minaccioso cartello giallo che recitava: «ATTENZIONE: PROGRAMMA DI PREVENZIONE MALATTIE. NON ENTRARE».

Poiché ero attesa, sono entrata lo stesso e ho parcheggiato poco distante da una Ford Taurus targata «EATPORK». Keith Schoettmer, il proprietario della fattoria e mia guida durante il tour, mi ha fatto cenno da un ingresso sulla destra.

Il cartello intimidatorio, mi ha spiegato Schoettmer, era parte dei suoi attenti sforzi per impedire che patogeni facessero ammalare i 22.000 maiali che alleva ogni anno. «Il vecchio adagio "prevenire è meglio che curare" calza alla perfezione in un allevamento di maiali», ha detto. Inoltre Schoettmer mi ha chiesto di indossare durante il tour una tuta protettiva e copri-scarpe in plastica per proteggere i suini da qualsiasi microbo potessi ospitare.

I batteri sono ovunque, ma sono presenti soprattutto negli allevamenti dove chiunque cammina letteralmente sullo sterco. (Nonostante abbia trascorso la visita alla fattoria ricoperta di plastica, quando sono rientrata in hotel, ore dopo, puzzavo ancora.) E, come germi in una scuola elementare, i batteri in questi escrementi sono condivisi: finiscono sepolti sotto le unghie di visitatori che grattano le teste degli animali, e contaminano le mani di chi lavora nelle fattorie. (Non ho visto nessuno indossare guanti.)

Nel 2005 un gruppo di ricercatori dei Paesi Bassi, che hanno un'estesa industria suinicola, ha scoperto che gli allevatori di maiali olandesi e le loro famiglie erano affetti da ceppi di stafilococco MRSA associati al bestiame. MRSA può causare infezioni della pelle, del sangue e dei polmoni potenzialmente letali; presente da decenni negli ospedali, di recente ha iniziato a colpire persone estranee all'ambiente sanitario. Nel 2007 un quinto delle infezio-

ni umane da MRSA nei Paesi Bassi sono state causate da batteri identici a quelli provenienti dal bestiame olandese. Dopo questa scoperta, nel 2008 il governo olandese ha annunciato politiche rigide contro l'uso di antibiotici negli allevamenti, che, di conseguenza, si è ridotto del 59 per cento tra il 2009 e il 2011. La Danimarca, un altro maggiore esportatore di carne di maiale, aveva proibito già nel 1999 l'uso di antibiotici su maiali in salute; in generale, l'Europa segue una linea più dura contro la somministrazione di antibiotici agli animali rispetto agli Stati Uniti.

Ora gli scienziati sanno che questo ceppo di batteri MRSA associato al bestiame si sta diffondendo anche negli Stati Uniti. Quando Tara Smith, allora all'Università dello Iowa, ha sentito di quanto avveniva nei Paesi Bassi, ha deciso di testare i maiali per l'MRSA in qualche fattoria dell'Iowa dove uno dei suoi colleghi, un veterinario, aveva qualche contatto. «Al primo giro abbiamo esaminato 270 maiali, siamo usciti e abbiamo raccolto tamponi da un sacco di musi, senza avere idea di che cosa avremmo trovato», ricorda Smith. «Circa il 70 per cento era positivo al MRSA».

Smith e colleghi hanno continuato a pubblicare studi inquietanti che mostrano la presenza del MRSA in tutti gli allevamenti suini degli Stati Uniti. Hanno trovato colonie di MRSA nelle narici del 64 per cento dei lavoratori di un grande allevamento e scoperto che il mangime che c'era in un altro allevamento ospitava l'MRSA ancora prima di essere scaricato dai camion delle consegne. Smith ha trovato l'MRSA fluttuare nell'aria circa 200 metri sottovento rispetto a un'altra fattoria. Altri batteri farmaco-resistenti sono stati scoperti in allevamenti di pollame: dopo aver guidato dietro camion che trasportavano polli in Maryland e Virginia, con i finestrini dell'automobile abbassati, ricercatori della John Hopkins Bloomberg School of Public Health hanno individuato ceppi resistenti di enterococchi – un tipo di batteri che negli Stati Uniti provoca 20.000 infezioni all'anno – nell'aria dell'abitacolo e posati sulla faccia superiore delle lattine lasciate nel portabevande.

I batteri di animali trattati con antibiotici sono sparsi attraverso il letame nei campi dove cresce il cibo con cui ci nutriamo

Gli escrementi animali sono inoltre usati per fertilizzare i campi coltivati, e ciò significa che i batteri vengono letteralmente sparsi sul suolo usato per far crescere il cibo di cui ci nutriamo. Uno studio del 2016 ha segnalato che, dopo aver distribuito sul terreno concime naturale proveniente da allevamenti di bovini e suini, l'abbondanza relativa nel suolo di geni che causano resistenza ad antibiotici è schizzata su di un fattore quattro. In uno studio effettuato in Pennsylvania, le persone maggiormente esposte a campi coltivati trattati con letame di maiale – per esempio perché vivevano nelle vicinanze – correvano un rischio di sviluppare infezioni da MRSA superiore del 30 per cento rispetto alle persone meno esposte.

Beard gestisce anche una seconda attività come distributore di concime naturale – carica 25 metri cubi del suo letame su un'autocisterna e lo distribuisce ai campi vicini – e, sottolinea, il processo è regolamentato. Deve fare test sul terreno per assicurarsi che i campi possano assorbire i nutrienti nel concime e deve distribuire gli escrementi abbastanza lentamente per evitare fuoriuscite dal campo. Proprio le fuoriuscite sono motivo di grande preoccupazione. Nel 2006 una epidemia di *Escherichia coli* veicolata da spinaci è stata ricondotta a una contaminazione dell'acqua usata per irrigare i campi: secondo gli investigatori, l'acqua era passata attraverso letame di suini e bovini di una fattoria vicina. L'epidemia ha ucciso tre persone.

Come si diffonde la resistenza

La resistenza agli antibiotici è un problema che coinvolge sia le persone sia gli animali. Ma come possiamo essere certi che i due fenomeni siano collegati, e che la resistenza sia esasperata dall'uso di antibiotici negli allevamenti? Nel 1975 l'Animal Health Institute assunse il biologo della Tufts University Stuart Levy per rispondere a questa domanda. Levy e colleghi somministrarono basse dosi di tetraciclina, un antibiotico, a 150 polli di una fattoria vicina che non avevano mai assunto antibiotici con il mangime, poi li tennero in osservazione per vedere che cosa sarebbe successo. In una settimana, quasi tutti i batteri *E. coli* nell'intestino degli animali erano resistenti alla tetraciclina. In tre mesi, le colonie di batteri dentro i polli erano resistenti anche a quattro altri antibiotici. Dopo quattro mesi, anche le colonie di batteri dentro i polli della fattoria che *non* avevano assunto tetraciclina avevano sviluppato resistenza al farmaco. Quando Levy analizzò i batteri prelevati dai proprietari della fattoria scoprì che il 36 per cento era resistente alla tetraciclina, rispetto al solo 6 per cento dei batteri raccolti dai vicini. All'epoca la scoperta fu uno choc. «L'idea diffusa era che fosse possibile somministrare agli animali antibiotici a basse dosi ed evitare che sviluppassero resistenza, il che rese il nostro studio molto più interessante e i risultati inattesi», ricorda Levy. (L'Animal Health Institute non ha finanziato ulteriori ricerche che confermassero le sue scoperte.)

Una ricerca ha riferito che oltre il 90 per cento dei batteri *E. coli* nei maiali allevati con metodi convenzionali è resistente alla tetraciclina, ma è anche resistente un sorprendente 71 per cento degli *E. coli* in maiali allevati in fattorie in cui non sono somministrati antibiotici. Questo perché i geni responsabili della resistenza si propagano facilmente. In un cruciale studio del 2012 il microbiologo Lance Price, oggi direttore dell'Antibiotic Resistance Action Center alla Miken Institute School of Public Health della George Washington University, ha tracciato le origini evolutive dello stafilococco MRSA associato al bestiame, e presente in maiali e loro allevatori in Europa e negli Stati Uniti, sequenziando il genoma di 88 campioni differenti di MRSA. I suoi risultati hanno mostrato che questo ceppo di MRSA è nato nelle persone come forma di *S. aureus* sensibile alla meticillina. I batteri sono poi passati al bestiame, dove hanno acquisito la resistenza a meticillina e tetraciclina, e si sono diffusi.

L'antibiotico-resistenza si trasmette all'inizio lentamente e attraverso rapporti genitore-prole, la discendenza di batteri resistenti nasce a sua volta resistente. Ma nuove ricerche mostrano che, nel tempo, i geni responsabili della resistenza riescono a farsi strada in agili frammenti di DNA che saltano qua e là attorno al genoma batterico, e molti finiscono su piccoli filamenti circolari di DNA chiamati plasmidi, le cui copie possono essere facilmente condivise tra batteri di specie differenti. In uno studio del 2014, un gruppo internazionale di ricerca ha raccolto sia da persone sia da polli campioni di *E. coli* antibiotico-resistenti. Nonostante i batteri fossero diversi dal punto di vista genetico, molti contenevano plasmidi quasi identici con gli stessi geni che causano resistenza agli antibiotici. Erano i plasmidi che, saltando da un organismo all'altro, diffondevano la resistenza, e non gli stessi batteri.

Il fatto che la resistenza si possa propagare in questo modo – che i microbiologi chiamano «orizzontale» – cambia tutto. È come se i medici avessero scoperto all'improvviso che la malattia di

Origine dei super-microbi

Gli antibiotici servono per uccidere o tenere sotto controllo i batteri. Così facendo, però, sono diventati una forza capace di plasmare le popolazioni batteriche, creando condizioni che favoriscono la sopravvivenza di germi portatori di geni capaci di combattere l'azione dei farmaci. Questi geni sono passati alla progenie attraverso un processo chiamato trasferimento verticale, in modo che un'alta percentuale delle generazioni future possano sopravvivere. Un pericolo ancora maggiore nasce però da un altro processo, chiamato trasferimento orizzontale. I geni della resistenza «saltano» letteralmente a ceppi o specie di batteri differenti, diffondendosi e rendendo i farmaci inefficaci quando i batteri infettano le persone.

LA VIA VERTICALE

Gli antibiotici possono fare un ottimo lavoro nell'uccidere batteri come *Escherichia coli* o *Staphylococcus aureus* quando il farmaco è usato per la prima volta. Ma alcuni microbi possono, per caso, trasportare geni (*in rosso*) che li aiutano a sopravvivere. Mentre i batteri sensibili muoiono, i pochi resistenti sopravvivono e trasmettono i loro cromosomi, e quindi i geni, alla progenie. Quei batteri, a loro volta in grado di combattere il farmaco, trasmetteranno il gene alle generazioni future. Dosi ulteriori di antibiotico agiscono da filtro, uccidendo i microbi senza il gene della resistenza ma lasciando quelli con il gene liberi di riprodursi ancora e ancora. In questo modo, i batteri portatori del gene della resistenza rappresenteranno poco per volta una porzione sempre più ampia della popolazione.

LA VIA ORIZZONTALE

Recenti scoperte mostrano come i geni della resistenza si possano inoltre diffondere velocemente da una specie di batteri all'altra o da ceppo a un altro. Il processo inizia come nel trasferimento verticale, quando parte dei batteri con i geni della resistenza sopravvivono agli antibiotici. Un enzima può estrarre questi geni da un cromosoma (1) e inserirli in un frammento circolare di DNA chiamato plasmide, che può passare da una specie a un'altra interamente differente (2).

Illustrazione di Matthew Twombly

Huntington non si trasmette solo da genitore a figlio, ma che possa infettare anche persone che si toccano accidentalmente. Significa anche che esporre un tipo di batterio a un antibiotico in un certo luogo può cambiare la risposta di altri tipi di batteri ad altri antibiotici in luoghi diversi.

La resistenza ha tipicamente un costo: le mutazioni attingono all'energia cellulare che un microbo usa per riprodursi. I singoli individui sopravvivono, ma la popolazione cresce più lentamente. Quando i batteri non sono più esposti agli antibiotici e non hanno più bisogno di combattere, abbandonano i geni della resistenza nel corso di diverse generazioni. Ma nuove ricerche mostrano che, quando i batteri sono esposti ripetutamente ad antibiotici, evolvono mutazioni di resistenza che permettono loro di mantenere tassi di riproduzione elevati e, di conseguenza, la resistenza rimane anche dopo aver tolto gli antibiotici. «È spaventoso che nell'intestino di alcuni pazienti abbiamo osservato casi in cui talvolta i plasmidi si trasferiscono da un batterio a un altro, e poi si risistemano», sostiene Tim Johnson, microbiologo al College of Veterinary Medicine dell'Università del Minnesota. «È come se evolvessero in tempo reale nell'organismo ospite per diventare più efficienti».

Lo stesso plasmide può inoltre contenere più geni che causano resistenza, così quando un gene offre a un batterio un vantaggio in termini di sopravvivenza, altri geni di resistenza arrivano a cavalcare l'onda. La diffusione di questa co-selezione, come è chiamata, è ancora ignota: probabilmente ce n'è molta «di cui non siamo ancora consapevoli», sostiene Tim Johnson. Ma comprendere la portata del fenomeno è cruciale per capire come si propaga la resistenza e come potrebbe minacciarci. Alcuni antibiotici usati nell'industria zootecnica non sono mai, o di rado, usati sugli esseri umani e il presupposto, spesso pubblicizzato dall'industria, è che la resistenza che si sviluppa verso queste sostanze non metta a rischio le persone. Ma per Scott McEwen, epidemiologo che studia la resistenza ad antibiotici all'Ontario Veterinary College dell'Università di Guelph, co-selezione significa che l'uso di un antibiotico potrebbe «selezionare la resistenza a un altro». Un incremento della resistenza ad antibiotici da allevamento potrebbe aumentare anche i livelli di resistenza, per esempio, alla penicillina.

A peggiorare la situazione, nuovi studi indicano che, quando sono esposti ad antibiotici, i batteri condividono i plasmidi responsabili della resistenza a ritmo maggiore. È come se i microbi facessero squadra di fronte a un nemico comune, condividendo con i compagni le armi più potenti. E, una volta che i batteri hanno acquisito la resistenza, la presenza di antibiotici non fa che aumentare le loro probabilità di successo. Uno dei motivi per cui le infezioni resistenti sono così diffuse negli ospedali è proprio per l'uso diffuso di antibiotici nell'ambiente: le medicine sterminano i batteri sensibili, tuttavia permettono a quelli resistenti, improvvisamente privi di concorrenza, di prosperare, facilitando la contaminazione di attrezzature mediche, personale e altri pazienti.

Il contrattacco del governo

Di fronte a considerazioni così allarmanti, potremmo pensare che il governo degli Stati Uniti stia dando un giro di vite all'uso di antibiotici nel settore agricolo. In effetti è così, più o meno. La Food and Drug Administration (FDA) statunitense ha rilasciato nel 2012 e 2013 due raccomandazioni su base volontaria – l'agenzia le chiama «direttive» – che sono state introdotte gradualmente a gennaio 2017, in cui ha chiesto alle aziende farmaceutiche veterinarie di cambiare le etichette dei loro antibiotici importanti dal punto di vista medico per dire che non debbono più essere som-

ministrati ad animali solo come promotori della crescita. Le direttive chiedono inoltre alle aziende di interrompere la vendita da banco di antibiotici destinati ai mangimi o all'acqua, e di richiederne invece la prescrizione di un veterinario.

La maggior parte delle case farmaceutiche ha accettato di rispettare le regole proposte. Il problema è che molti allevamenti, inclusi quelli di Schoettmer e Bears, sostengono di aver interrotto da tempo l'uso di antibiotici come stimolanti della crescita. Ora sostengono di usarli principalmente per «la prevenzione e il controllo di malattie», una motivazione che non sarà interessata dalle nuove regole. Finché i loro veterinari saranno d'accordo, gli allevatori potranno sempre trattare in massa gli animali con antibiotici nel timore che possano essere vulnerabili a qualche infezione. «Ritengo che si possa considerare questo uso relativamente normale nell'industria», sostiene Schoettmer, che nel 2015 è stato incoronato allevatore di maiali statunitense dell'anno dal National Pork Board. (Questa commissione è stata istituita dal Congresso degli Stati Uniti per promuovere il settore ed è supervisionata dallo U.S. Department of Agriculture, USDA.) E sottolinea che l'obiettivo è «assicurarsi che nessuno di questi patogeni molto diffusi trovi un appiglio e inizi a far soffrire questi maiali».

Secondo i dati dell'USDA, circa il 70 per cento degli allevamenti statunitensi di suini somministra antibiotici agli animali per prevenire o controllare la diffusione di malattie; quasi tutti i loro maiali a un certo punto della crescita sono alimentati con mangime corretto agli antibiotici. Allo stesso modo, oltre il 70 per cento dei bovini cresciuti in grandi allevamenti statunitensi assume antibiotici importanti dal punto di vista medico, e anche tra il 20 e il 52 per cento dei polli in salute riceve a un certo punto antibiotici. Eppure è possibile che gli allevatori che stipulano un contratto con grandi aziende non sappiano nemmeno quando somministrano antibiotici, poiché sono riforniti di mangimi pretrattati. Quando ho chiesto a Beard a che età i suoi maiali ricevono antibiotici, mi ha risposto che avrebbe dovuto contattare la TDM per scoprirlo.

Ha senso che animali che crescono in affollati allevamenti intensivi abbiano bisogno di antibiotici: le condizioni in cui vivono li rendono vulnerabili alle malattie. «La densità rende più difficile eliminare i patogeni, e il rischio di infezioni è maggiore», sostiene Steve Dritz, veterinario alla Kansas State University. I maiali che ho visto strisciavano, ed erano sdraiati gli uni sugli altri: certi sonnecchiavano o bighellonavano tra le loro feci. Negli ultimi

Tenere lontani i pericoli: nella fattoria di Schoettmer, i giovani maiali sono vaccinati contro un virus (*1*). Un cartello dissuade eventuali visitatori perché potrebbero infettare gli animali (*2*). Maiali di quattro e cinque mesi riposano nelle loro gabbie (*3*).

decenni l'estensione degli allevamenti negli Stati Uniti è esplosa: nel 1992 solo il 30 per cento delle fattorie allevava contemporaneamente più di 2000 suini, mentre nel 2009 le fattorie di queste dimensioni rappresentavano l'86 per cento dell'industria suina, in larga parte perché molte di piccole dimensioni avevano chiuso. Gli allevatori sono soggetti a forti pressioni economiche. Il prezzo dei suini è sceso, e le aziende che stipulano contratti con gli allevatori insistono affinché le fattorie modernizzino con regolarità le loro costose attrezzature sostenendone per intero i costi. Nel 2014 solo il 56 per cento degli allevamenti di medie dimensioni ha riferito di aver ottenuto un ricavo effettivo dalla loro attività.

Con questi presupposti, «gli agricoltori devono in pratica poter contare su una gestione perfetta e su perfette condizioni ambientali, tutto perfetto per mantenere lontane le malattie. Altrimenti perdono il bestiame», sostiene Tim Johnson. «Non è colpa degli allevatori, è il settore che li ha spinti a questi estremi».

Collegamenti nella catena nei salumi

Il mattino dopo la visita alla fattoria di Schoettmer, prima di partire per quella di Beard, ho fatto colazione in hotel. Mi sono soffermata di fronte alle salsicce: erano state forse fatte a partire dai maiali di Schoettmer? L'allevatore vende la maggior parte dei suoi maiali alla Indiana Packers Corporation, che trasforma e vende la carne di maiale ai rivenditori locali. Le salsicce che avevo di fronte potevano essere prodotte da qualcuno dei suoi animali.

Ne ho presa una, seppur riluttante. Quali erano, mi sono chiesta, le probabilità di contrarre da questa carne un'infezione farmaco-resistente? Durante la macellazione la carne delle bestie è contaminata dai batteri provenienti dal loro intestino. In uno studio del 2012, gli scienziati della FDA hanno analizzato carne cruda venduta al dettaglio in tutto il paese e hanno scoperto che l'84 per cento dei petti di pollo, l'82 per cento del macinato di tacchino, il 69 per cento della carne bovina macinata e il 44 per cento delle costolette di maiale erano contaminati da *E. coli* intestinale. Oltre la metà dei batteri nel macinato di tacchino era resistente ad almeno tre classi di antibiotici. Questi germi possono provocare un'intossicazione alimentare se la carne non è cotta bene prima di essere consumata, o se la persona che la cucina non si lava bene le mani dopo aver maneggiato la carne cruda.

Ma una nuova ricerca indica che i patogeni trasmessi mediante gli alimenti possano farci ammalare anche in altri modi. Price e colleghi studiano ceppi di *E. coli* chiamati COP: patogeni opportunisti colonizzanti. Come ha sottolineato in un articolo del 2013, è probabile che questi batteri entrino nelle persone attraverso il cibo senza causare, all'inizio, alcun malessere; colonizzano semplicemente l'intestino, dove si uniscono a miliardi di altri batteri «buoni». In seguito possono infettare altre parti del corpo, come l'apparato urinario, e causare malattie importanti. Si è scoperto che le infezioni delle vie urinarie diffuse tra le donne dell'Università della California a Berkeley tra il 1999 e il 2000 sono state causate da ceppi di *E. coli* identici che, scrive l'autore, potrebbero essersi sviluppati dopo che le donne avevano ingerito cibo contaminato.

Negli ultimi anni gli statunitensi Centers for Disease Control and Prevention (CDC) hanno identificato la fonte della contaminazione in grandi epidemie di malattie trasmesse dal cibo in solo la metà dei casi. Ma le origini di infezioni a sviluppo lento sono ancora più ardue da individuare. Potrei non sapere mai se le salsicce che ho mangiato quella mattina erano contaminate da CPO farmaco-resistenti. Se mesi più tardi fossi colpita da una seria infezione, potrei non essere in grado di dimostrare che la causa è stata quella colazione. Probabilmente non ci penserei nemmeno più.

Questo è il nodo della questione: è difficile, se non impossibile, tracciare l'origine delle infezioni resistenti al loro punto zero microbico. «È una strada lunga dal punto di vista geografico, temporale e da molti altri punti di vista: dalla fattoria alla forchetta», dice McEwen. La carne di un hamburger può provenire da 100 bovini diversi, è difficile identificare il singolo contributore contaminato. Gli scienziati non solo hanno bisogno di farlo, ma hanno anche bisogno di scoprire se il modo in cui l'animale è stato allevato – ha ricevuto o meno antibiotici, per quanto tempo, con che dose e a che scopo – ne abbia influenzato i batteri incoraggiando o peggiorando l'epidemia. L'industria afferma inoltre che i batteri degli allevamenti pongono rischi solo alle persone che vi lavorano e vivono nelle vicinanze, non al pubblico in generale, motivo per cui gli scienziati cercano di contattare gli allevamenti, per confrontarne i batteri con quelli che affliggono una popolazione più ampia.

Eppure nessuno raccoglie questo tipo di informazioni. «I dati raccolti a livello delle fattorie sono molto limitati», ammette Bill Flynn, direttore aggiunto per le politiche scientifiche al Center for Veterinary Medicine della FDA. Nel settembre 2015 FDA, USDA e CDC hanno tenuto un incontro in cui hanno definito un piano per raccogliere più dati nelle fattorie, ma non hanno ricevuto i fon-

di necessari ad attuare il programma. In effetti, per l'anno fiscale 2016 la FDA non ha ricevuto un centesimo dei 7,1 milioni di dollari richiesti per studiare l'antibiotico-resistenza negli animali.

Anche gli scienziati del mondo accademico vorrebbero disperatamente andare nelle fattorie e studiare gli animali, ma di rado viene loro consentito l'accesso, a meno che non abbiano agganci. Quando Smith sperava di prelevare campioni dagli allevamenti industriali di tacchini, ha contattato ogni singolo allevamento registrato in Iowa. «Nessuno ci ha lasciato entrare», ricorda. Per studiare i batteri dei suini, Price si è ridotto ad acquistare dai macellai del North Carolina musi di maiale da cui prelevare con un tampone campioni dei batteri presenti, perché non ha avuto accesso ad animali vivi. E ricordate lo studio in cui i ricercatori della John Hopkins tallonavano con le loro automobili i camion di consegna dei polli? Hanno dovuto effettuare lo studio così perché non avevano altro modo di avvicinarsi agli animali: ai ricercatori non era stato consentito l'accesso alle fattorie.

Non che gli allevatori di bestiame siano contro la scienza; l'ordine di allontanare gli estranei parte dai datori di lavoro, le aziende di trasformazione della carne. Dal 90 al 95 per cento degli allevatori di pollame statunitensi e il 48 per cento degli allevatori di maiali (tra cui Beard) lavorano a contratto: firmano contratti per allevare animali per grandi aziende come Tyson Foods, Smithfield Foods o Perdue Farms. Gli allevatori sono vincolati a queste aziende perché contraggono debiti enormi per avviare le attività – un nuovo allevamento di pollame o di maiali costa circa un milione di dollari – eppure non guadagnano nulla senza contratti con grandi aziende; e spesso hanno un'unica scelta perché nella loro regione opera solo un'azienda.

Per rispondere alle domande sulla resistenza agli antibiotici è necessario che gli scienziati possano accedere agli allevamenti

Eppure questi contratti – «Scientific American» ha ottenuto la copia di uno recente da un ex allevatore per Pilgrim's Pride, il maggior produttore di polli degli Stati Uniti – contengono clausole sulla protezione degli animali, in cui gli allevatori sono invitati a «limitare i movimenti di persone, veicoli e macchinari non essenziali» attorno alla fattoria. La mia visita alle fattorie di Beard e Schoettmer è stata pre-approvata dalla National Pork Board. Ma quando Mike Weaver, allevatore di pollame del West Virginia, diversi anni fa ha invitato un giornalista alla sua fattoria e il suo datore di lavoro lo è venuto a sapere, «sono stato costretto a seguire una "riqualificazione sulla biosicurezza" e l'arrivo del gruppo di animali successivo è stato ritardato di due settimane, il che ammonta per me a una perdita di introiti di circa 5000 dollari», afferma. Price, come scienziato, ha convinto anni fa una manciata di allevatori a consentigli l'accesso alle rispettive fattorie, ma poi, ricorda, hanno «perso i loro contratti».

Nonostante reiterate richieste, l'American Farm Bureau Federation, il gruppo commerciale che rappresenta l'industria agricola, così come Smithfield Foods, il maggior produttore di maiali e trasformatore di carni di maiale al mondo, non hanno rilasciato commenti per questo articolo e hanno rifiutato di rispondere alla domanda se le industrie del settore stiano tenendo gli scienziati fuori dalle fattorie.

Qualunque sia la ragione, la mancanza di dati ha facilitato la lotta dell'industria contro una regolamentazione. Nel 1977, dopo la pubblicazione degli studi di Levy, la FDA ipotizzò di vietare l'uso di numerosi antibiotici nel cibo per animali a causa di timori per la salute. Nei decenni trascorsi da allora l'industria ha combattuto aspramente contro questi piani, sostenendo che mancassero le prove definitive. Ciò ha spinto la FDA a cambiare strategia, sostiene Flynn, e ad affidarsi alle direttive su base volontaria.

Molti però considerano l'esenzione per il controllo delle malattie una voragine nelle linee guida: «Se penso che il volume totale di antibiotici somministrati si abbasserà? Assolutamente no», afferma H. Morgan Scott, epidemiologo veterinario alla Texas A&M University. In effetti, da quando sono state annunciate le bozze delle linee guida le vendite di antibiotici alle fattorie sono aumentate. Nel 2014 il Pew Charitable Trust, un'organizzazione no profit, ha analizzato le etichette di tutti i 287 prodotti antibiotici che saranno influenzati dalle direttive, e ha scoperto che gli allevatori saranno ancora in grado di somministrare un quarto delle sostanze alle stesse dosi e senza limiti sulla durata del trattamento, finché sosterranno di usarle per la prevenzione o per il controllo delle malattie. Addirittura Richard Carnevale, dell'Animal Health Institute, sostiene che le linee guida della FDA «potrebbero cambiare il quadro generale di come gli antibiotici sono usati, ma resta da vedere se influenzeranno la quantità totale di antibiotici somministrati».

Neanche la richiesta di prescrizione veterinaria potrebbe intaccare l'uso di antibiotici. Molti veterinari li prescrivono e li vendono per guadagno personale o lavorano a stretto contatto con l'industria alimentare o farmaceutica. Un'indagine di Reuters del 2014 ha riferito che metà dei veterinari che negli ultimi anni sono stati consulenti della FDA sull'uso di antibiotici nel cibo per animali ha ricevuto denaro da case farmaceutiche. «Molti veterinari sono legati all'industria, molti hanno un conflitto d'interessi e molti sono vincolati ai grandi produttori, quindi sono inclini a mantenere inalterato lo status quo», ha dichiarato James Johnson.

Per aggirare questi problemi diversi membri del Congresso, incluso il membro alla Camera dei rappresentanti per lo Stato di New York e microbiologa Louise Slaughter, hanno presentato leggi che regolino in modo più stretto l'uso di antibiotici nelle fattorie. Per oltre dieci anni Slaughter ha spinto per il suo Preservation of Antibiotics for Medical Treatment Act. È stato sostenuto da 454 organizzazioni, inclusa l'American Medical Association. Ma, dopo essere stato indirizzato alla sottocommissione per la salute della House Energy and Commerce Committee, non ha mai raggiunto il voto.

Un membro della commissione che non sostiene la proposta in questo passaggio, Tim Murphy, rappresentante per la Pennsylvania, ha messo in guardia, nero su bianco, dall'uso continuo di antibiotici a basso dosaggio in alimenti per animali e dai pericoli posti dai batteri resistenti alla nostra filiera alimentare, dice il suo addetto stampa, Carly Atchison. Ma non pensa che la proposta di legge «raggiunga l'opportuno equilibrio necessario nell'uso di antibiotici importanti dal punto vista medico in agricoltura e allevamento», dice Atchison.

La proposta è osteggiata anche dall'industria. Secondo i dati del Center for Responsive Politics, nel 2015 il National Chicken Council ha speso 640.000 dollari per fare pressione, in parte, contro una legislazione sull'uso di antibiotici, mentre l'Animal Health Institute ne ha spesi 130.000. I dati del centro mostrano inoltre che le case farmaceutiche veterinarie o le organizzazioni di allevatori hanno fatto donazioni per campagne elettorali di oltre 15.000 dollari a oltre la metà dei membri della sottocommissione per la salute. «Le organizzazioni commerciali sono andate laggiù e han-

Fuori dagli schemi. La Seven Sons Farm, in Indiana, conta su spazi extra per impedire la diffusione di malattie tra gli animali e non usa antibiotici nei mangimi.

no detto "Non potete dimostrare che sia colpa nostra – che siamo noi a causare la resistenza"», sostiene Patty Lovera, vicedirettore dell'organizzazione no profit Food and Water Watch con base a Washington. «E questo ha bloccato i lavori davvero a lungo».

Una piccola soluzione

Dopo aver lasciato la fattoria di Beard, ho guidato due ore per raggiungere la mia ultima destinazione: la Seven Sons Farm di Roanoke, in Indiana, che alleva maiali al pascolo e nei boschi senza antibiotici. Dieci anni fa Seven Sons era simile alle due fattorie che avevo appena lasciato, allevava 2300 suini all'anno per Tyson Foods, usando farmaci. Ma la famiglia era preoccupata dagli effetti sulla salute, così ha fatto dei cambiamenti. Seven Sons è diventata quella che oggi viene chiamata una fattoria diversificata e rigenerativa, e oggi, su circa 220 ettari di pascoli, alleva circa 400 maiali, 2500 galline da uova e 120 bovini alimentati a foraggio.

Blaine Hitzfield, il secondo dei sette figli da cui la fattoria prende il nome, mi ha fatto da guida per una visita. Ho visto meno di una dozzina di suini bighellonare su una distesa di 0,2 ettari di terra ed erba. Hitzfield non mi ha chiesto di indossare una tuta protettiva, e non era preoccupato del fatto che arrivassi da un altro allevamento di suini. I suoi animali, mi ha spiegato, sono più robusti di quelli allevati in reclusione: non solo hanno più spazio e possibilità di muoversi, ma sono anche svezzati più tardi per far sì che sviluppino un sistema immunitario più forte. Anche la natura aiuta. «Il Sole è un antisettico fantastico, e il fango è meraviglioso per tenere lontani i parassiti», ha spiegato. (Se un maiale si ammala, Seven Sons lo cura con antibiotici, ma poi lo vende all'asta anziché con il proprio marchio.) Le sue affermazioni sono sostenute dalla ricerca. In uno studio del 2007, ricercatori della Texas Tech University hanno riferito che i maiali allevati all'aria aperta hanno cellule immunitarie che combattono i batteri chiamate neutrofili più attive rispetto a quelle di animali allevati al chiuso.

Hitzfield riconosce che può essere difficile interpretare l'approccio di Seven Sons come il futuro dell'allevamento industriale. «Gli allevatori che seguono metodi convenzionali direbbero "È ridicolo; non funzionerà mai; non è incrementabile", e in un certo senso hanno ragione», afferma. Seven Sons è un piccolo prototipo, ma Hitzfield sostiene che, con il tempo e più ricerca, versioni più grandi sarebbero possibili. «Per ettaro, siamo molti più produttivi di quanto non siamo mai stati», ha aggiunto.

Alcuni allevamenti industriali stanno apportando cambiamenti, soprattutto grazie alle richieste dei consumatori. Non si stanno trasformando in piccole aziende diversificate. Ma a febbraio 2016 Perdue Farms ha annunciato che due terzi dei suoi polli saranno allevati senza antibiotici medicalmente importanti; Tyson Foods ha promesso di interrompere l'uso di antibiotici destinati all'uomo nei suoi allevamenti di polli statunitensi da settembre 2017. A livello industriale è molto più facile allevare senza antibiotici polli da ingrasso che maiali, mucche o tacchini, perché i primi sono macellati in età più giovane.

Ma la domanda spinge al ridimensionamento anche alcuni grandi produttori di carne di maiale. «Non è semplice», afferma Bart Vittori, vice presidente e direttore generale per la carne di maiale a Perdue Foods, la cui divisione Coleman Natural Foods alleva i maiali con alimentazione vegetariana e priva di antibiotici. «Ma la domanda c'è. I nostri consumatori sono più intelligenti, più informati, in grado di porre più domande che mai». E anche la carne che arriva da Niman Ranch, una rete che raccoglie oltre 725 allevamenti di suini, agnelli, bovini e galline da uova a conduzione familiare sparsi in tutti gli Stati Uniti, è stata cresciuta senza farmaci.

I prodotti di Coleman, come quelli di fattorie di nicchia come Seven Sons e Niman Ranch, sono fuori della portata finanziaria di molti statunitensi. Ma maggiore è la domanda di carne libera da antibiotici maggiori saranno le forniture e – se le basi dell'economia sono ancora valide – minore sarà il prezzo.

Gli scienziati hanno ancora molte domande sulla resistenza agli antibiotici, domande che potrebbero non ricevere mai risposta se le aziende continueranno a vietare l'ingresso a estranei alle loro fattorie. Anche così, il peso schiacciante delle prove punta verso una riduzione dell'uso di antibiotici negli allevamenti, a favore di nuove metodologie per il controllo delle infezioni o vecchie strategie come offrire agli animali vasti spazi. Fino a quando questi cambiamenti non avverranno, i ricercatori continueranno, insieme a tutti noi, a preoccuparsi della forza crescente dei batteri trasmessi mediante il cibo e della debolezza sempre maggiore dei mezzi di cui la nostra medicina dispone per combatterli. ■

PER APPROFONDIRE

Meticillin-Resistant *Staphylococcus aureus* in Pigs and Farm Workers on Conventional and Antibiotic-Free Swine Farms in the USA. Smith T.C. e altri, in «PLoS ONE», Vol. 8, n. 5, articolo n. e63704, 7 maggio 2013.

Prevalence of Antibiotic-Resistant *E. coli* in Retail Chicken: Comparing Conventional, Organic, Kosher, and Raised without Antibiotics. Version 2. Millman J.M e altri, in «F1000Research», Vol. 2, articolo n. 155, pubblicato on line il 2 settembre 2013.

Multidrug-Resistant and Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in Hog Slaughter and Processing Plant Workers and Their Community in North Carolina (USA). Neyra R.C. e altri, in «Environmental Health Perspectives», Vol. 122, n. 5, pp. 471-477, maggio 2014.

Livestock-Associated *Staphylococcus aureus*: The United States Experience. Smith T.C., in «PLoS Pathogens», Vol. 11, n. 2, articolo n. e1004564, 5 febbraio 2015.

Detection of Airborne Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* Inside and Downwind of a Swine Building, and in Animal Feed: Potential Occupational, Animal Health, and Environmental Implications. Ferguson D.D. e altri, in «Journal of Agromedicine», Vol. 21, n. 2, pp. 149-153, 2016.

Il nemico dentro. McKenna M., in «Le Scienze» n. 514, giugno 2011.

ROBOTICA

Soffici robot

Una nuova famiglia di automi è in grado di adattarsi all'ambiente grazie alla capacità di plasmare la propria struttura in funzione delle necessità

di Riccardo Oldani

Riccardo Oldani è un giornalista e divulgatore, attento in particolare ai temi della robotica, dell'intelligenza artificiale e dell'automazione.

Cortesia Lori Sanders/Harvard University

Sul lungomare di Livorno è una luminosa giornata primaverile. Ma nei Bagni Pancaldi Acquaviva, il primo stabilimento balneare in muratura realizzato in Italia, nel 1840, giovani provenienti da tutto il mondo non badano al paesaggio e nemmeno alle architetture dello storico edificio che li ospita. Sono 140 e sono arrivati qui da Corea del Sud, Regno Unito, Stati Uniti, Arabia Saudita, Germania, Svizzera e, naturalmente, Italia, per confrontarsi in una competizione molto particolare: la RoboSoft Grand Challenge.

IN BREVE

Un ambito recente di sviluppo della robotica riguarda la cosiddetta *soft robotics*, in cui le macchine sviluppate sono capaci di cambiare forma e geometria, di adattarsi all'ambiente in cui operano, grazie anche all'impiego di materiali speciali.

L'Italia è all'avanguardia nella robotica soft, come dimostra il ruolo del nostro paese in un apposito progetto finanziato dall'Unione Europea e conclusosi di recente con una competizione tenutasi a Livorno, a cui hanno partecipato robot soffici progettati in tutto il mondo.

Secondo gli addetti ai lavori, i tempi sono maturi per applicazioni pratiche della soft robotics. Lo dimostrano interesse e investimenti crescenti di numerosi paesi in quasi ogni continente, che rischiano di oscurare il ruolo pionieristico dell'Europa e dell'Italia in particolare.

Polpo fluorescente. Octobot, il primo robot interamente soft, ispirato al polpo e realizzato alla Harvard University con tecniche di stampa tridimensionale.

La sfida è l'atto conclusivo della Soft Robotics Week, un congresso internazionale che lo scorso aprile ha raccolto i maggiori esperti mondiali di robotica *soft*. Consiste in due prove, in cui gli automi devono dapprima destreggiarsi afferrando oggetti posti dietro complicati ostacoli e poi muoversi su terreni di diversa consistenza (*si veda il box a p. 84*).

La particolarità delle macchine in gara è che sono tutti robot soft, ovvero capaci di cambiare forma e geometria a piacimento e secondo necessità. Sono plasmabili, in grado da adattarsi all'ambiente in cui operano, grazie anche all'impiego di materiali speciali come gomme, siliconi, polimeri di nuova generazione, ma anche per merito di architetture e strutture speciali e innovative, che li rendono sinuosi, capaci di modificare il proprio volume e l'ingombro esterno.

Il corpo prima dell'intelligenza

Di robotica soft si sta parlando molto negli ultimi tempi, grazie anche all'impulso della ricerca italiana che, in questo ambito, è all'avanguardia. Le ricerche di Cecilia Laschi, della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, e Barbara Mazzolai, dell'Istituto italiano di tecnologia, hanno aperto la strada a un ambito della robotica che si trova, comunque, in una fase di primo sviluppo e di precisa definizione di ambiti e applicazioni. I robot soft che abbiamo visto impegnati a Livorno sembrano, in effetti, ancora lontani da quell'ideale di macchine perfette e intelligenti a cui ci hanno abituato letteratura e cinematografia fantastica. Per ora fanno una certa fatica a svolgere compiti apparentemente semplici. Eppure sono considerati una delle espressioni più avanzate della robotica. Perché?

Anche per il concetto che queste nuove macchine portano con sé. Tra i suoi tanti obiettivi, la robotica soft ha anche l'ambizione di dare concretezza a un'idea molto sofisticata, che gli scienziati definiscono *embodiment* (dall'inglese *body*, corpo). Il termine nasce in psichiatria e in neuroscienze per definire la «mente incarnata», cioè il complesso intreccio di relazioni che si stabilisce tra psiche e corpo. Senza alcuna corporeità, la nostra intelligenza e le nostre capacità cognitive sarebbero profondamente diverse, sostengono i teorizzatori dell'embodiment. Lo stesso, per estensione, può valere anche per i robot, come afferma Rolf Pfeifer, che a lungo si è occupato di intelligenza artificiale all'Università di Zurigo e ora collabora con l'Università di Osaka, in Giappone, e la Jiao Tong University di Shanghai, in Cina. Pfeifer ha partecipato anche lui al meeting livornese, dove abbiamo avuto l'occasione di incontrarlo.

«Il corpo – spiega Pfeifer – ha un ruolo fondamentale nel dare forma al pensiero. Per capirlo dobbiamo considerare le interazioni che si stabiliscono tra sistemi fisici, come gli oggetti che manipoliamo, e i processi che producono informazione. Quando prendo una tazzina di caffè non mi limito ad afferrarla ma, attraverso l'interazione fisica che stabilisco con essa, faccio in modo che si producano stimoli sensoriali, grazie a cui "sento" la tazzina in mano e posso anche percepire il modo in cui la tengo. Questi schemi ricorrenti di stimoli sensoriali sono, per così dire, la materia grezza che il cervello si trova a elaborare nella costruzione del pensiero. Sono stimoli che dipendono anche dal tipo e dalla posizione del "sensore" da cui si originano. Se per esempio provo a toccare la tazzina con il dorso della mano, ne avrò una percezione diversa rispetto alla presa con i polpastrelli».

Ma anche il materiale è fondamentale. Non quello con cui è fatta la tazzina, ma il materiale con cui siamo fatti noi o di cui è costituito il robot. Dice ancora Pfeifer: «Se copro i polpastrelli con ditali di metallo e poi provo ad afferrare la mia tazzina, scoprirò subito quanto sia difficile, perché le caratteristiche del materiale di cui è fatto il ditale complicano parecchio la situazione. Basta provare un esercizio del genere per capire che, al contrario, materiali morbidi e deformabili, come pelle e tessuti dei nostri polpastrelli, ci diano un vantaggio non solo nel compiere determinate azioni, perché per esempio facilitano la presa sulla tazzina, ma anche nel raccogliere una ricca serie di dati e informazioni, che costituiscono la base su cui il cervello lavora ed elabora».

Secondo Pfeifer non è un caso che gli esseri umani, e tutti gli esseri viventi in generale, siano costituiti in gran parte da materiali morbidi e deformabili. «L'estrema versatilità, flessibilità e adattabilità del sistema sensomotorio umano – dice ancora lo scienziato svizzero – dipendono in larga parte dal fatto che siamo fatti di materiali "soft". Al contrario, oggi non c'è un solo robot che si avvicini neanche minimamente alle prestazioni di un corpo umano. Per questo, secondo me, se vogliamo costruire robot efficienti, che almeno si avvicinino alle prestazioni di un corpo umano, questi robot dovranno essere "soft", e un grande impegno della ricerca dovrà essere rivolto allo studio e allo sviluppo di nuovi materiali».

Servono applicazioni concrete

La visione di Pfeifer è condivisa da George Jeronimidis, per molti anni professore di ingegneria dei materiali compositi all'Università di Reading, nel Regno Unito, e ora in pensione, nel senso che non ha più impegni legati all'insegnamento e che può dedicarsi totalmente alla ricerca. Quando lo abbiamo incontrato alla Soft Robotics Week di Livorno ci ha raccontato come è nato il suo interesse in questo campo. «Mi sono occupato per tutta la vita di ricerca sui materiali e ho cominciato a immaginarne l'applicazione nella robotica soft dopo un incontro con Cecilia Laschi e Barbara Mazzolai a un convegno, in cui avevamo ragionato su idee applicative. Sono convinto che per sviluppare robot soft dobbiamo lavorare molto sui materiali. Per farlo però dobbiamo affrontare sfide particolarmente impegnative, come quella del controllo dei sistemi non rigidi, decisamente più complesso rispetto ai sistemi rigidi».

Il motivo è intuitivo: in una struttura rigida il movimento di un arto, per esempio, può essere effettuato attraverso un giunto. Ma un materiale morbido, come un elastomero, cioè un polimero con proprietà plastiche simili a quelle della gomma, non permette soluzioni di questo tipo. D'altra parte un sistema non rigido permette di sviluppare applicazioni impraticabili per i robot tradizionali. Un esempio riguarda la chirurgia e il fatto che oggetti morbidi siano molto più adatti a lavorare a contatto di un tessuto o con il nostro corpo rispetto a corpi duri o metallici, che potrebbero produrre danni non voluti.

Ma si potrebbero pensare applicazioni in molti campi. Per esempio, suggerisce Jeronimidis, per il controllo di qualità della frutta e della verdura. Per noi è semplicissimo tastare una pesca e capire se è matura. Ma un essere umano non può passare otto ore di lavoro toccando migliaia e migliaia di frutti: finirebbe per stancarsi presto ed essere impreciso. Compiti di questo genere potrebbero allora essere delegati a sistemi robotici soft, in grado di avere percezioni simili alle nostre e svolgere la funzione in modo affidabile. Quanto tempo ci voglia per arrivare a soluzioni di questo tipo è difficile da dire, ma il lavoro è appena iniziato. «È comunque fondamentale – dice ancora Jeronimidis – passare ora a una nuova fase e pensare alle applicazioni dei robot soft. Perché secondo me questi tipi di robot non saranno universali, capaci di fare un po' di tutto come è nell'ideale dell'androide, ma saranno molto specializzati, destinati a svolgere compiti specifici».

Italia in primo piano

A confermare che i tempi sono maturi per le applicazioni pratiche è Cecilia Laschi, la quale insieme al suo gruppo alla Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa ha dato vita a quello che probabilmente è stato il primo robot soft della storia, Octopus, il robot polpo, sviluppato poi in un'evoluzione chiamata PoseiDrone. Si tratta di una macchina che ricorda un polpo vero, dotato di bracci in silicone che gli scienziati dell'istituto pisano sono riusciti a far muovere, grazie allo sviluppo di tecnologie e approcci altamente innovativi, proprio come quelli dell'animale (che comunemente, e impropriamente, sono chiamati tentacoli). Ora, le conoscenze accumulate con quel progetto sono sul punto di tradursi in impieghi concreti.

Lo stesso robot polpo potrebbe essere impiegato in compiti di esplorazione dell'ambiente marino e di controllo della qualità delle acque. Ma automi ispirati ai suoi bracci potrebbero, dice Laschi, «trovare impiego in ambito biomedico. Con i colleghi di chirurgia robotica del nostro istituto abbiamo per esempio messo a punto un endoscopio a rigidezza variabile, che potrebbe già conoscere una vita operativa, perché il prototipo è pronto ed è stato testato. Abbiamo anche avviato un progetto per sviluppare una sorta di braccio robotico soft per aiutare a lavarsi sotto la doccia persone che hanno difficoltà nei movimenti».

Altri progetti su cui lavora il gruppo del Sant'Anna riguardano simulatori di parti del corpo per il *training* di medici e speciali corde vocali artificiali. È prossima anche una prima applicazione di robotica soft in ambito industriale, su cui però Laschi non ci anticipa nulla, perché gli accordi con i partner sono ancora in fase di definizione.

PROGETTO EUROPEO

Dentro RoboSoft

La Soft Robotics Week, organizzata a Livorno dal 25 al 30 aprile 2016 con un intenso impegno della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, è stata l'ultimo momento di confronto tenutosi nell'ambito del programma europeo RoboSoft, che il 30 settembre 2016 è giunto al termine del suo percorso. Iniziato nel 2013, RoboSoft è stato finanziato nell'ambito del VII Programma Quadro dell'Unione Europea per un totale di quasi un milione di euro ed è stato coordinato in Italia, dall'Istituto di biorobotica della Scuola Superiore Sant'Anna. Vi ha partecipato un consorzio di centri di ricerca: oltre a quello pisano anche l'Università di Bristol e l'Università di Cambridge, nel Regno Unito, e il Politecnico federale di Zurigo, in Svizzera.
L'obiettivo di RoboSoft era coordinare azioni e attività nella robotica soft per dare un indirizzo preciso a questa nuova disciplina e mettere in contatto tra loro gli scienziati impegnati nel settore. Per questo motivo i meeting annuali organizzati nell'ambito del programma, di cui quello livornese è stato l'ultimo, hanno ospitato anche ricercatori provenienti da tutto il mondo, non solo dai centri di ricerca consorziati. Documenti e risultati scaturiti dal progetto sono consultabili sul sito web www.robosoftca.eu.

Il primo. Il robot Octopus, sviluppato alla Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, probabilmente il primo robot soffice della storia.

Cortesia Massimo Brega (*Octopus, a sinistra*); cortesia Jennie Hills, The London Science Museum (*Octopus, a destra*)

Ma nell'attuale stadio di sviluppo le applicazioni della *soft robotics* in ambiti molto specifici sono ancora da scoprire. Spesso i ricercatori che progettano questi robot non sono a conoscenza delle particolarità tecniche di un certo tipo di industria o di attività. Al momento, quindi, è necessaria una sorta di disseminazione della conoscenza, che illustri ai tecnici di settore le caratteristiche e le capacità di questa branca della robotica, affinché siano proprio loro a immaginare le possibili applicazioni pratiche. In seguito il pallino deve tornare in mano ai robotici per lo sviluppo di una soluzione capace di affrontare i compiti richiesti. Da questo punto di vista, nonostante le difficoltà di comunicazione con l'industria e la scarsa attenzione che finora si è data al cosiddetto trasferimento tecnologico, i centri di ricerca italiani hanno importanti carte da giocarsi, anche rispetto ai loro omologhi stranieri, perché i nostri studiosi possono davvero essere considerati i pionieri della disciplina.

Ma il vantaggio tecnologico non è destinato a durare in eterno, se non è sostenuto da iniziative e finanziamenti. Paesi come Stati Uniti e Corea del Sud hanno riconosciuto nella soft robotics un settore di grande interesse e hanno avviato, o sono sul punto di farlo, programmi di sostegno molto intensi. Per la Corea del Sud si parla addirittura di un piano nazionale di settore da un miliardo di dollari di investimento nell'arco di dieci anni. I coreani sono convinti di questo fronte, come dimostra il fatto che MadMax, il robot che ha vinto la sfida livornese, è stato realizzato dal gruppo della Seoul National University, coordinato da Kyu-Jin Cho. In realtà, carenatura plastica e grandi ruote di MadMax non hanno un aspetto molto soft. Ma sono le ruote la chiave del progetto, capaci di modificare la propria geometria grazie alla struttura cosiddetta a *origami*, dall'arte giapponese di piegare la carta per ottenere forme anche molto complesse e ispirate alla natura. I robot origami sono considerati una particolare famiglia dei robot soft: sono caratterizzati dal fatto di cambiare forma molto rapidamente ma senza usare materiali di per sé morbidi.

Una scienza in costruzione

L'aspetto poco soft di MadMax è la dimostrazione di come questa branca della robotica sia aperta a strade e sviluppi originali, spesso ancora del tutto imprevedibili, anche per un fatto eminentemente tecnico. Lo spiega Pfeifer: «Nel robot classico c'è una separazione netta tra hardware e sistemi di controllo, e sulla base di questo principio è possibile costruire robot capaci di assolvere praticamente a qualsiasi compito. In robotica soft l'approccio è diverso».

Perché? Se pensiamo a come il cervello coordina il nostro corpo ci rendiamo conto che non esercita un controllo preciso su ogni singola articolazione, come invece avviene nei robot «meccanici». Piuttosto, il cervello sovrintende alla postura generale attraverso un controllo delle proprietà dei materiali di cui il corpo stesso è fatto. In che modo? In una condizione di riposo i muscoli sono rilassati, quando invece entriamo in azione si tendono. «Quello che fa il cervello nel governare il nostro corpo – dice Pfeifer – consiste quindi nel modificare dinamicamente le proprietà dei materiali di cui siamo fatti, e in particolare la tensione dei tessuti muscolari».

La ricerca della robotica soft è orientata proprio a capire que-

Al meglio delle tre prove

L'evento conclusivo della Soft Robotics Week livornese è stato una sfida a cui hanno partecipato 17 robot di nove università provenienti da tutto il mondo e impegnati su tre fronti: una prova di movimento su diversi terreni, una prova di manipolazione e una gara generale, la Grand Challenge, per premiare il robot più abile a cimentarsi nelle due sfide. Nella gara di manipolazione ha prevalso il robot CoSoRo dell'Università del Colorado, una sorta di mano con tre soffici dita in uno speciale materiale flessibile, mentre il robot soft più abile a spostarsi è stato Oto, dell'Università di Cambridge, nel Regno Unito, caratterizzato da una struttura capace di gonfiarsi e sgonfiarsi secondo necessità e di usare questa caratteristica anche per muoversi.
A vincere la gara assoluta è stato il robot MadMax, della Seoul National University, in Corea del Sud, un robot che sembra una specie di fuoristrada in miniatura, con ruote «origami» che cambiano geometria secondo necessità.
Tra le altre soluzioni interessanti presentate hanno spiccato quelle del gruppo statunitense della Tufts University di Barry Trimmer, un biologo che ha sviluppato un robot ispirato a un bruco, la sfinge del tabacco, composto da segmenti triangolari di un materiale schiumoso. L'automa si sposta grazie a un meccanismo di frizione asimmetrico, che genera cioè un attrito tra robot e terreno maggiore in una direzione rispetto all'altra.

Il campione. Qui sopra MadMax, il robot della Seoul National University vincitore della competizione livornese. A fronte, Oto, robot dell'Università di Cambridge.

sti meccanismi e ad applicarli alle macchine. Quindi si traduce in uno sforzo che non è esclusivamente ingegneristico, ma molto più ampio, che coinvolge diverse discipline e ha anche, per certi versi, una componente introspettiva, perché si rivolge allo studio della natura, e dell'essere umano in particolare, per capirne il funzionamento, carpirne i segreti e trasferirli ai nuovi robot.

Progressi evidenti

I progressi in questa direzione sono evidenti. Mazzolai descrive quella della soft robotics come «una comunità scientifica molto dinamica, che sta crescendo sia dal punto di vista dei risultati sia da quello tecnologico. Le soluzioni proposte migliorano continuamente, si vedono salti in avanti notevoli fatti anche in tempi relativamente brevi. Ogni volta che ci incontriamo nei nostri meeting periodici, come quello di fine aprile a Livorno, si possono apprezzare importanti novità». In effetti, assistendo a come i ricercatori interagiscono tra loro e si rapportano quasi come fossero amici, si ha l'impressione che la robotica soft sia un calderone in continua ebollizione, un ambito in cui si discute, ci si confronta e che si contraddistingue per un ottimismo elevato, acceso dalla percezione che questa disciplina potrebbe davvero avere un impatto positivo, non solo nella creazione di nuovi prodotti e di una nuova economia, ma proprio per il benessere delle persone.

Per esempio un ambito in cui i robotici soft sono convinti di poter dare un grande valore aggiunto è, come abbiamo già visto, quello delle applicazioni chirurgiche e mediche, in cui macchine «morbide» ridurrebbero al minimo il rischio di danneggiare tessuti sani. «In questo settore, l'idea della robotica soft – dice Mazzolai – è realizzare strumenti delicati nel contatto con il paziente, ma soprattutto cedevoli e anche in grado di cambiare la rigidezza quando serve. L'approccio è diverso già in fase di progetto, quando si pensa a come far funzionare i robot senza produrre danni e, al tempo stesso, migliorando le prestazioni. Ma questo è vero anche in altri campi. Pensiamo per esempio ad applicazioni per il salvataggio o a robot che possono muoversi in ambienti non strutturati, magari resi di difficile praticabilità in seguito a un disastro, o ancora ad applicazioni ambientali».

Se l'approccio pare quindi promettente, allo stesso tempo i robotici soft si devono confrontare con molti problemi da risolvere, che non sono solo tecnologici, ma di approccio. «Per esempio abbiamo bisogno – dice la scienziata italiana – che esperti di discipline diverse collaborino tra loro, e questo già di per sé, pur essendo un forte stimolo culturale, pone problemi di comprensione e di linguaggio». Questa disciplina si fonda sul concorso di varie scienze di base - biologia, fisica, chimica, matematica - e richiede pertanto maturità, la sedimentazione di certi principi, per permettere agli studiosi di capire come debbano progettare e realizzare i loro robot.

Si tratta, quindi, anche di un discorso di mentalità, di formare nuove persone, giovani dotati di una cultura multidisciplinare che è andata perdendosi nel tempo perché le università formano sempre di più in maniera specialistica. «Invece – osserva Mazzolai – la robotica soft, per la sua stessa natura, ha bisogno di menti che attingano a campi diversi. E questa, secondo me, è la sua portata rivoluzionaria».

Arrivano gli americani

Che da questo approccio possano arrivare risultati importanti per tutta la scienza, e non solo per l'ambito robotico, lo stanno capendo in molti. Gli stessi studi di Laschi per il robot-polpo e di Mazzolai per il suo plantoide, un robot che penetra nel terreno simulando le strategie messe in atto dalle radici degli alberi, hanno portato a nuove scoperte sulla biologia del cefalopode e delle piante. «Nel nostro lavoro – dice ancora Mazzolai – abbiamo netta la percezione di esplorare nuove strade e di creare una nuova disciplina, una nuova scienza, con l'opportunità di aprire scenari

assolutamente imprevedibili e inaspettati e con loro anche nuove professioni e occupazione».

Il problema è anche trovare la stessa lungimiranza e propensione al futuro in coloro che devono decidere di investire in questo settore. «Devo dire – osserva la ricercatrice – che in ambito comunitario non sembra esserci questa visione, perché l'orientamento del programma Horizon 2020 è mirato a ricadute e risultati di breve periodo. È giusto pensare alle applicazioni pratiche, ma oggi dobbiamo anche immaginare i prodotti che dovremo realizzare tra 10 o 15 anni e gettare le basi per l'innovazione che potremo fare domani».

Così l'Europa, e l'Italia in particolare, dove la robotica soft è nata, corrono il rischio di perdere un notevole vantaggio per mano di realtà più dinamiche. Negli Stati Uniti, per esempio, stanno nascendo i primi *spin-off* in questo settore, da università come Harvard o Cornell, che in una certa misura attingono anche al lavoro dei ricercatori italiani e che stanno trasformando in attività molto concrete grazie alle loro capacità di investimento. Proprio la Harvard University a fine agosto 2016 ha annunciato la realizzazione del primo robot interamente soft. Si chiama Octobot, è lungo sette centimetri e non a caso si ispira nella forma al polpo. Non a caso perché richiama la forma del primo robot soft realizzato, Octopus, di Laschi e della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa.

La particolarità di Octobot è che anche la parte logica, che sovrintende al movimento e all'autonomia del robot, è in materiali soft, tanto che non sono necessari cavi di collegamento per comandarlo. Il tutto si basa su un sistema che regola in modo automatico la circolazione di speciali fluidi all'interno del robot, che è fatto di mescole siliconiche di diversa composizione e rigidezza. Questi fluidi si trasformano in gas in seguito a reazioni di catalisi, secondo un processo regolato dal robot, e l'espansione dei gas prodotti provoca il movimento del piccolo automa, prodotto con tecniche di stampa 3D.

La descrizione di questo ingegnoso sistema è stata pubblicata su «Nature». E non è un caso che un numero sempre più alto di lavori di robotica soft condotti da gruppi statunitensi trovi pubblicazione su questa rivista o su «Science», che non sono pubblicazioni specialistiche o tecnologiche. Ciò dimostra come negli Stati Uniti abbiano capito bene l'importanza della robotica soft dal punto di vista dell'impatto sulle scienze in generale e non soltanto da quello applicativo.

In tempi brevi arriveranno le prime applicazioni concrete di questi robot, non solo dimostrative, e a quel punto si potrà capire la reale portata di questo nuovo approccio. Ma il momento per essere lungimiranti e crederci è questo. Sarebbe davvero importante che il ruolo pionieristico della ricerca italiana in questo settore non solo sia riconosciuto, ma sia anche considerato strategico da parte di chi decide le politiche per la ricerca nel nostro paese. Altrimenti ci troveremo presto a parlare di un'altra occasione perduta. ■

PER APPROFONDIRE

An Integrated Design and Fabrication Strategy for Entirely Soft, Autonomous Robots. Wehner M., Wood R.J. e altri, in «Nature», Vol. 536, n. 7617, pp. 451-455, 25 agosto 2016.

Octopus Inspired Robotics. Mazzolai B. e Laschi C., in «Bioinspiration & Biomimetics», Vol. 10, n. 3, giugno 2015.

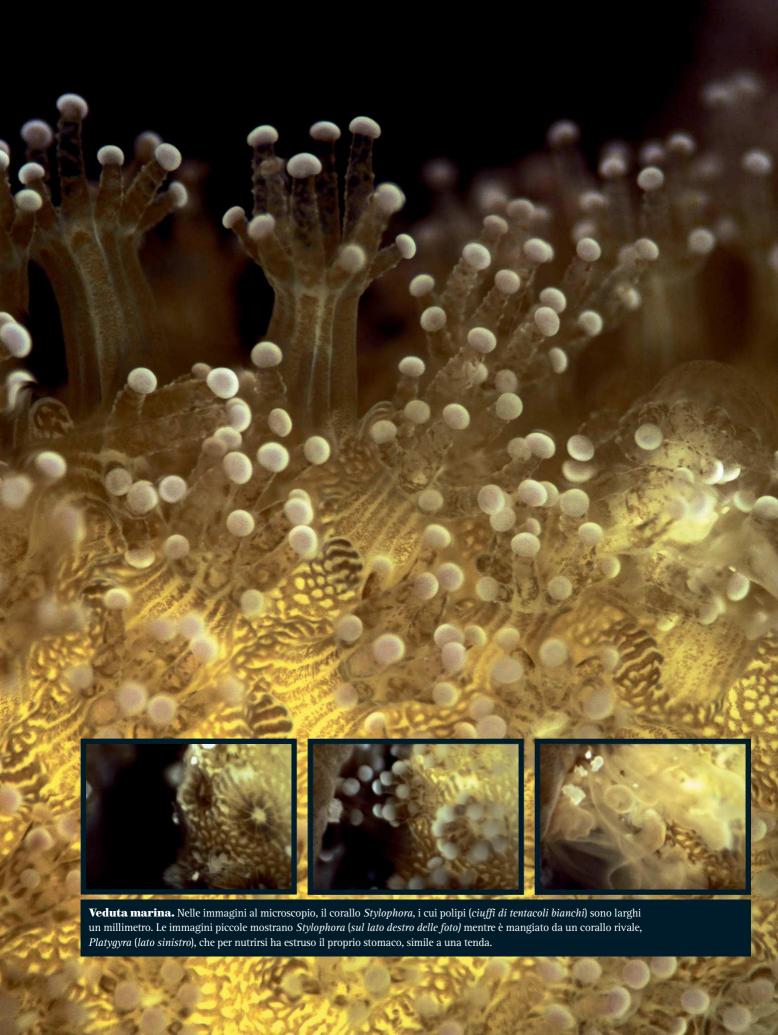
A Novel Growing Device Inspired by Plant Root Soil Penetration Behaviors. Sadeghi A. e altri, in «PLoS ONE», Vol. 9, n. 2, e90139, 25 febbraio 2014.

The Implications of Embodiment for Behavior and Cognition: Animal and Robotic Case Studies. Hoffmann M. e Pfeifer R., in *The Implications of Embodiment: Cognition and Communication*, Tschacher W., Bergomi C. (*a cura*), Exeter: Imprint Academic, febbraio 2012.

How the Body Shapes the Way We Think – A New View of Intelligence. Pfeifer R. e Bongard J., MIT Press, ottobre 2009.

Sito web della rivista trimestrale peer-reviewed «Soft Robotics (SoRo)»: **http://online.liebertpub.com/loi/SORO.**

Veduta marina. Nelle immagini al microscopio, il corallo *Stylophora*, i cui polipi (*ciuffi di tentacoli bianchi*) sono larghi un millimetro. Le immagini piccole mostrano *Stylophora* (*sul lato destro delle foto)* mentre è mangiato da un corallo rivale, *Platygyra* (*lato sinistro*), che per nutrirsi ha estruso il proprio stomaco, simile a una tenda.

OCEANOGRAFIA

Battaglie nel profondo

Un nuovo speciale microscopio per il fondo del mare rivela le lotte mortali tra organismi spessi non più di un capello

di Josh Fischman

Sotto le onde dell'Oceano Pacifico, nel 2015 gli scienziati hanno osservato una lenta e sorprendente danza di morte, con una ricchezza di dettagli senza precedenti.

Andrew D. Mullen, dottorando che lavora con l'oceanografo Jules Jaffe alla Scripps Institution of Oceanography dell'Università della California a San Diego, ha osservato una barriera corallina morente all'isola di Maui, nelle Hawaii. La barriera si era appena «sbiancata», le alghe simbiotiche che vivono in ogni minuscolo polipo del corallo erano diventate troppo calde e i coralli li avevano espulsi. «I polipi erano diventati bianchi, e più deboli. Ma erano ancora vivi», ricorda Mullen.

Poi però è arrivata la fine, sotto forma di filamenti verdi di altre alghe invasive portate dalla corrente sulle creste calcaree fra un polipo e l'altro. «Anche indeboliti, i polipi del corallo dovrebbero essere in grado di resistere alle alghe», dice Mullen. Ma i ricercatori non avevano mai visto come, nell'ambiente naturale, le alghe colonizzano gli interstizi e poi, nel giro di alcuni mesi, si espandono fino a ricoprire i polipi. «Una volta che l'alga è cresciuta fino a soffocarli, i coralli non hanno scampo», dice. «Sono coperti da una pellicola verde, e a quel punto sono morti».

È una danza di vita e di morte, che si svolge su un palco minuscolo. Ogni polipo è largo circa un millimetro. I filamenti dell'alga possono arrivare a un ventesimo di millimetro – simile allo spessore di un capello – e le alghe simbiotiche espulse dal corallo sono 10 volte più piccole. Mullen e Jaffe sono riusciti a vederli tutti usando un nuovo tipo di lente d'ingrandimento in un contenitore impermeabile: il microscopio subacqueo bentonico, il primo strumento con cui si riesce a osservare in tempo reale gli organismi in fondo al mare.

Jaffe e colleghi erano già riusciti a osservare da vicino i polipi dei coralli, ma solo in laboratorio. Sul fondo del mare, le condizioni sono troppo buie e difficili affinché i normali microscopi producano immagini chiare. La soluzione di Mullen è stata montare intorno al suo strumento una serie di luci LED e usare una lente di messa a fuoco regolabile elettricamente con polimero flessibile che può appiattirsi o ispessirsi rapidamente per tenere sempre a fuoco piccoli oggetti, come fanno le lenti degli occhi.

La lente non ha mostrato solo la morte, ma anche strategie per la vita. Jaffe e Mullen hanno osservato battaglie tra coralli in cui uno digerisce il vicino (*pagina a fronte*). Questo però non avviene se appartengono alla stessa specie, indicando che in qualche modo questi animali riconoscono i parenti. Come facciano resta da vedere, ma adesso che hanno aperto gli occhi gli scienziati non mancheranno di andare a guardare.

Microscopia subacquea

Il fondo marino è una maledizione per la microscopia. Laggiù, acque buie e correnti incostanti cospirano a fare di ogni piccolo oggetto una macchia di movimenti confusi con la maggior parte delle lenti. Ma la particolare concezione del «microscopio subacqueo bentonico» risolve questi problemi. Il componente principale è una lente deformabile (1) che cambia forma ogni manciata di millisecondi, facendosi più spessa o più piatta per aggiustare la distanza focale e mantenere nitida l'immagine. Per illuminare il bersaglio, il sistema usa impulsi luminosi della durata di meno di un millisecondo emessi da un anello di LED (2), che danno esposizioni rapide senza perdite di dettaglio dovute al movimento, riducendo anche al minimo il disturbo per gli organismi. Combinando le singole immagini riprese a diverse lunghezze focali, si ottiene un'immagine unica in cui tutte le parti del soggetto sono a fuoco (3).

Illustrazione di John Grimwade; si ringrazia il Laboratory for Underwater Imaging di Jules Jaffe alla Scripps Institution of Oceanography dell'Università della California a San Diego (*fotografie*); fonte: *Underwater Microscopy for In Situ Studies of Benthic Ecosystems*, in «Nature Communications», di Andrew D. Mullen e altri, Vol. 7, articolo n. 12093, pubblicato on line il 12 luglio 2016 (*illustrazione*)

Novella matematica

La grande letteratura è sorprendentemente aritmetica

Un buon libro suscita una varietà di emozioni durante la lettura. Si è scoperto, però, che quasi tutti i drammi e le commedie stimolano solo una di sei «esperienze emozionali» dall'inizio alla fine, un'esuberante «dalle stalle alle stelle», per esempio, oppure ascesa e caduta di una speranza. Ricercatori dell'Università del Vermont hanno riportato su un grafico felicità e tristezza delle parole che compongono le pagine di oltre 1300 opere di narrativa per rivelarne gli archi emozionali e hanno scoperto una manciata di variazioni.

Un altro studio coordinato dall'Istituto polacco di fisica nucleare ha trovato che la lunghezza delle frasi nei libri forma di frequente strutture frattali, un gruppo di oggetti che si ripete a scale piccole e grandi, il modo in cui piccole foglie volanti formano foglie triangolari più grandi, che formano fronde di palma ancora più grandi (*sotto*).

Perché analizzare la matematica della natura? Andrew J. Reagan, che si occupa di matematica applicata all'Università del Vermont, nota che «enormi quantità di dati» dello Human Genome Project «ci hanno insegnato molto sui geni, molto più di quanto ne sapessimo prima. Forse i dati posso insegnarci qualcosa anche sulle storie».

Mark Fischetti

Felicità
Sopra la media
Sotto la media

Arco: Dalle stalle alle stelle
Il racconto di inverno

Inizio del libro
Fine

Arco: Cadere per rialzarsi
I figli del gelo

Arco: Cenerentola (ascesa, caduta, ascesa)
The Mystery of the Hasty Arrow

Arco: Tragedia (una caduta)
Romeo e Giulietta

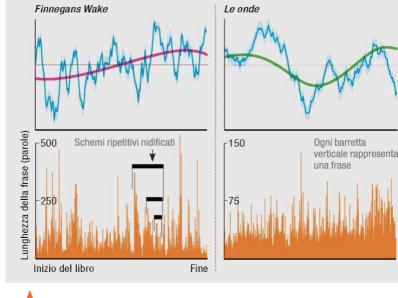
Arco: Icaro (elevarsi per cadere)
Ombre giapponesi

Arco: Edipo (caduta, ascesa, caduta)
L'ospite maligno

Archi emozionali

Circa l'85 per cento di 1327 opere di narrativa raccolte nel Project Gutenberg digitale segue uno di sei archi emozionali – uno schema di alti e bassi dall'inizio alla fine (*curve scure*). Gli archi sono definiti dalla felicità o dalla tristezza delle parole nel testo che scorre (*grafici frastagliati*). Tutti i libri erano in inglese e con meno di 100.000 parole; sono mostrati alcuni esempi.

Incroci

Su richiesta di «Scientific American», ricercatori dell'Università del Vermont hanno analizzato due libri oggetto di uno studio su frattali di frasi (*in basso*) e hanno trovato che corrispondono a due degli archi emozionali comuni (*curve colorate*). Libri che hanno lo stesso tipo di arco tendono ad avere anche strutture frattali simili? Nessuno ancora lo sa.

Struttura frattale di frase

Ordine e lunghezza delle frasi in 113 opere letterarie famose scritte in lingue diverse quasi sempre formano schemi frattali. Libri di flusso di coscienza come *Finnegans Wake*, di James Joyce, hanno ripetizioni estreme. Libri più tradizionali come *Le onde*, di Virginia Woolf, hanno ripetizioni più contenute. Entrambi i tipi di ripetizioni sono frattali.

Grafici di Andrew J. Reagan (*archi emozionali*) e Jen Christiansen (*mappe frattali*); fonti: *The Emotional Arcs of Stories Are Dominated by Six Basic Shapes*, di Andrew J. Reagan e altri, in «EPJ Data Science», Vol. 5, n. 1, articolo n. 31, dicembre 2016 (*archi*); *Quantifying Origin and Character of Long-range Correlations in Narrative Texts*, di Stanisław Drożdż e altri, in «Information Sciences», Vol. 331, 20 febbraio 2016 (*frattali*)

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso della disinformazione nei media

Creando pane dall'aria

Un processo di sintesi fondamentale per la sicurezza alimentare presenta il conto

C'è un'invenzione, spesso dimenticata, senza cui si stima che quasi metà della popolazione mondiale non potrebbe esistere: il processo Haber-Bosch. A molti il nome non dice nulla, ma si tratta del processo chimico che permette la sintesi dell'ammoniaca da idrogeno e azoto e quindi la produzione in massa dei fertilizzanti che permettono all'agricoltura odierna di alimentare oltre sette miliardi e mezzo di persone.

Le piante hanno bisogno di azoto: in natura lo usano per crescere e quando muoiono lo restituiscono al terreno, dove altre piante lo riutilizzano. L'agricoltura interrompe questo ciclo, perché le piante vengono raccolte e mangiate, sottraendo azoto. I metodi naturali, come l'uso del letame e dei prodotti del compostaggio e la rotazione delle colture, compensano solo in parte questo furto di azoto.

Intorno al 1913 il chimico tedesco Fritz Haber scoprì come prendere l'azoto dall'aria e fornirlo alle piante tramite composti a base di ammoniaca e l'ingegnere tedesco Carl Bosch trovò come industrializzare la scoperta, permettendo non solo di ridare alla terra l'azoto mancante, ma di aggiungerne, aumentando straordinariamente la resa delle coltivazioni. Il processo Haber-Bosch era quasi magico: letteralmente creava *Brot aus Luft*, pane dall'aria. La scoperta rivoluzionò l'agricoltura e valse a Haber e Bosch il premio Nobel per la chimica rispettivamente nel 1918 e nel 1931.

La gloria di Haber, tuttavia, fu in seguito macchiata dal suo coinvolgimento diretto nello sviluppo e nell'uso delle armi chimiche per la Germania (specificamente nel massacro di Ypres), che spinse la moglie Clara Immerwahr al suicidio; negli anni successivi fu attaccato dal nazismo per le sue origini ebraiche e si rifugiò in Inghilterra prima e in Svizzera poi, dove morì nel 1934. Di fatto però senza l'ingegno controverso di Haber e Bosch molti di noi non sarebbero qui. Capita spesso, purtroppo, che il ruolo quotidiano della scienza nella nostra vita venga dimenticato quando funziona.

A distanza di un secolo, il processo Haber-Bosch permette oggi di produrre circa 160 milioni di tonnellate all'anno di ammoniaca, usata in gran parte per i fertilizzanti, tuttavia ha un costo energetico e ambientale sempre più difficile da sostenere. Usa gas naturale come fonte d'idrogeno e richiede pressioni e temperature estreme, che hanno fatto sì che il processo Haber-Bosch consumi oggi da solo circa l'uno per cento della produzione energetica mondiale.

La maggior parte dell'azoto nei fertilizzanti, inoltre, finisce nell'aria o nell'acqua, contribuendo alla formazione di gas serra, all'inquinamento dell'acqua potabile, alle piogge acide e alla creazione di immense «zone morte» negli oceani, dove le alghe alimentate dai fertilizzanti riversati dal dilavamento e dai fiumi crescono a dismisura, bloccando la luce e uccidendo i pesci, come avviene nel Golfo del Messico.

Si prevede che la domanda di fertilizzanti raddoppierà nei prossimi anni, dando modo di sfamare miliardi di persone ma creando allo stesso tempo una crisi di sostenibilità che richiederà di nuovo quella che gli economisti chiamano blandamente «sostituzione tecnologica»: la tendenza ricorrente, nella storia dell'umanità, a imbattersi in limiti fisici apparentemente insormontabili per poi trovare ingegnosamente la maniera di aggirarli. Proprio il processo Haber-Bosch è considerato uno dei più chiari esempi di questa sostituzione periodica e ci ha permesso di sopravvivere alla crisi alimentare mondiale che il chimico britannico William Crookes vedeva profilarsi già nel 1898, ben prima della scoperta trasformante di Haber. La storia, insomma, insegna che le soluzioni alle crisi non si trovano rifugiandosi nei miti nostalgici e nella fuga dalla conoscenza, ma creando terreno fertile per l'ingegno.

Una mano all'agricoltura. Sacchi di fertilizzante ammassati fuori dall'impianto di produzione a Xiangyang, città della Cina centro-orientale, pronti all'uso nei campi.

Jie Zhao/Corbis via Getty Images

di Beatrice Mautino

Biotecnologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Tra i suoi libri più recenti, l'e-book *Stamina. Una storia sbagliata* (2014) e *Contro natura*, con Dario Bressanini (Rizzoli, 2015)

Pelle liscia in punta di ago

Un metodo contro rughe e cicatrici da acne prevede di bucherellare la pelle

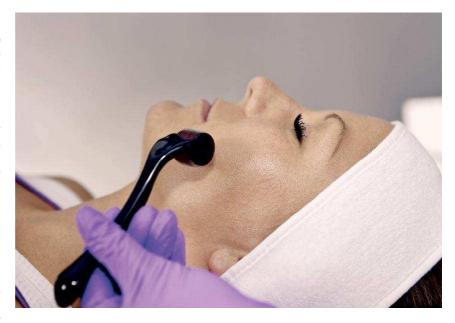
In principio fu Kim Kardashian. Un paio di anni or sono, la star della televisione americana seguita da milioni di persone sui *social network,* si è fatta riprendere mentre si sottoponeva a un trattamento antirughe in uno studio di medicina estetica a Miami. Stesa sul lettino, Kardashian urlava dal dolore mentre i medici le bucherellavano il viso in migliaia di punti. Le fotografie del suo volto insanguinato hanno fatto il giro del web e le riviste di moda hanno mandato i loro giornalisti a ripetere l'esperienza.

Ammetto di averci pensato per un attimo anche io. «Per "Le Scienze" questo ed altro!», mi sono detta, cercando una nobile scusa per giustificare il vero motivo per cui avrei voluto provare: le rughe che iniziano inesorabilmente a farsi vedere sul mio viso. Mentre cercavo informazioni ho però scoperto che un trattamento simile a quello a cui si è sottoposta Kim Kardashian, ma molto più economico, è diventato parte della routine quotidiana di molte persone grazie a uno strumento chiamato *dermaroller*, un rullo coperto di minuscoli aghi, in vendita per pochi euro. Su YouTube si trovano video *tutorial* che insegnano a usarlo dando consigli anche molto precisi sul tipo di movimento da compiere e sulla frequenza d'uso. Ma quindi, funziona?

Come spesso succede, la risposta è complessa e richiede che vi racconti una storia. Siamo a New York nel 1995 in uno studio di chirurgia plastica sulla Quinta Strada. Qui, i medici David e Norman Orentreich provano a eliminare cicatrici e rughe dai loro pazienti usando un ago di quelli che si utilizzano per le iniezioni sottocutanee. Infilano l'ago sotto la pelle, lo muovono orizzontalmente, come se volessero «staccare» lo strato superficiale, infine estraggono l'ago e ripetono il trattamento per qualche altra seduta nel corso di alcuni mesi.

Quando la pelle subisce un danno, piastrine e neutrofili del sangue rilasciano particolari molecole, i fattori di crescita, che stimolano la produzione di collagene e altre componenti della matrice cellulare. Così, più o meno velocemente, il tessuto danneggiato si ripara. I due chirurghi newyorkesi avevano ipotizzato che questo fenomeno potesse essere sfruttato per stimolare la pelle a produrre collagene in uno specifico punto, come un *lifting* ma «naturale», direbbero i pubblicitari.

Con gli anni gli strumenti si sono evoluti, gli aghi si sono rimpiccioliti e sono aumentati di numero fino ad arrivare al dermaroller e a Kim Kardashian, ma il concetto è lo stesso: danneggiare la pelle per stimolare una risposta infiammatoria e di riparazione.

La certezza che il metodo funziona è arrivata solo pochi anni fa da un esperimento effettuato alla Northwestern University. Venti persone con cicatrici da acne su tutto il viso sono state sottoposte a tre sedute con il dermaroller nell'arco di due mesi. Per misurarne gli eventuali benefici, gli scienziati hanno scelto di trattare solo una metà del viso, tenendo l'altra come controllo. Alla fine del trattamento è stato chiesto a due dermatologi che non avevano partecipato alle sedute di valutare il miglioramento delle cicatrici su entrambi i lati.

Dipende dall'uso. I dermaroller venduti per uso casalingo hanno aghi sensibilmente inferiori a quelli dei dermaroller per usi professionali, con ricadute sull'efficacia del metodo.

microgen/iStock

I risultati pubblicati su «JAMA Dermatology» nel 2013 dimostrano che c'è un significativo miglioramento nella parte di viso trattata rispetto al controllo, quindi funziona. Ma gli studi dimostrano che funziona solo se gli aghi penetrano oltre lo strato più superficiale della pelle, lo strato corneo. Gli operatori professionali usano strumenti con aghi lunghi 1 o 2 millimetri a seconda del tipo di pelle e di lesioni da riparare. Gli strumenti in vendita per uso casalingo, per questioni di sicurezza, hanno aghi di lunghezze inferiori a 0,5 millimetri, troppo corti per penetrare in profondità e stimolare la produzione di collagene. Un effetto sulla pelle c'è, ma è simile a quello di un normale *peeling.* Quindi non aspettatevi miracoli: ed è un consiglio che vale sempre.

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore interessato all'esplorazione scientifica del cibo.
Autore di *Pane e Bugie*, *OGM tra leggende e realtà* e *Le bugie nel carrello.*

Il burro di arachidi

Per prepararlo bastano sale, zucchero, olio e un frullatore; e arachidi, ovviamente

Da bambino le chiamavo «spagnolette». Mi piacevano molto, ma le mangiavo quasi solo durante le feste natalizie, quando le trovavo in qualche cesto regalo. Altri le chiamavano «noccioline americane», come Pippo quando le coglieva dalla pianta e le ingoiava per trasformarsi in Superpippo.

La pianta di Pippo doveva essere sicuramente speciale perché le noccioline crescevano appese ai rami, mentre l'arachide, il nome comune dell'*Arachis hypogaea*, pianta erbacea originaria del Sud America appartenente alla famiglia delle leguminose, in realtà dopo la fecondazione allunga e curva il peduncolo che sostiene il fiore fino a farlo penetrare nel terreno. Sotto terra il frutto si sviluppa fino a generare un baccello che contiene di solito due o tre semi ricoperti di una pellicina sottile. Al raccolto la pianta viene estirpata e i baccelli asciugati all'aria.

Gran parte delle arachidi coltivate al mondo serve per produrre olio, uno dei migliori per le fritture data la sua stabilità alle alte temperature, ma sono anche usate in molti altri modi. In Italia si consumano più spesso nel periodo invernale, ma sono anche servite, tostate e salate, tutto l'anno come snack da aperitivi. Dopo la scoperta delle Americhe le arachidi sono state portate da spagnoli e portoghesi in Africa e Asia, dove sono entrate a far parte delle culture gastronomiche locali e sfruttate per preparare salse e condimenti. La Satay, per esempio, è una tipica salsa della cucina indonesiana e thailandese, preparata con aglio, arachidi, latte di cocco e altri ingredienti, usata per condire spiedini di carne. In Africa invece le arachidi sono a volte usate, intere o in pasta, per preparare spezzatini di carne, mentre negli Stati Uniti sono consumate principalmente sotto forma di «burro d'arachidi», così chiamato per via della sua consistenza spalmabile.

Probabilmente ce n'è un barattolo in ogni cucina statunitense e per i bambini americani il sandwich al burro d'arachidi e gelatina di frutta è l'analogo della nostra fetta di pane spalmata di crema di cacao e nocciole. Preparare il burro d'arachidi a casa è facilissimo: servono solo arachidi, un po' di sale, zucchero, olio di semi e un frullatore o un robot da cucina. Io uso 200 grammi di arachidi sgusciate, tostate e leggermente salate; quelle classiche da aperitivo. Se avete arachidi non tostate dovete stenderle su una teglia da forno, formando possibilmente un singolo strato, e metterle in forno a 180 °C per 15-20 minuti o fino a quando non saranno diventate un po' più scure.

La tostatura distrugge gli enzimi presenti nei semi capaci di degradare i grassi formando con il tempo odori sgradevoli. In più le alte temperature producono sapori e aromi più intensi grazie alla reazione di Maillard che avviene tra proteine e zuccheri presenti.

Mettete le arachidi in un frullatore o in un robot da cucina e tritatele con una serie di impulsi. Quando hanno raggiunto una grana piuttosto fine aggiungete gli altri ingredienti: un paio di cucchiaini di zucchero, o di miele, e un cucchiaino di olio di arachidi, o un altro olio neutro.

Se siete partiti da arachidi non salate aggiungete anche un po' di sale a piacere. Continuate a frullare fino a raggiungere la consistenza di una pasta spalmabile. Conservatela in frigorifero.

Pane e... Negli Stati Uniti, il sandwich al burro di arachidi e gelatina di frutta è l'equivalente della nostra fetta di pane con crema di cacao e nocciole.

baibaz/iStock

Le arachidi contengono molti acidi grassi insaturi. Per questo motivo la pasta risulterà abbastanza fluida e con il tempo l'olio si separerà parzialmente. Per ridurre il problema della separazione dell'olio e migliorare la dispersione si può aggiungere lecitina di soia (0,5 per cento in peso) come emulsionante. Industrialmente, per ovviare a questo problema, si aggiungono spesso grassi idrogenati, oppure grassi saturi come l'olio di palma.

Se, spalmato sul pane, trovate il suo sapore troppo intenso, potete sempre cimentarvi nella preparazione di qualche spezzatino africano, nella salsa thailandese per gli spiedini, o in più tradizionali biscotti.

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Lavoretti di falegnameria

Truunf-griiik, truunf-griik, trunf-griik...

Certo, non è molto chiaro: ma le onomatopee non lo sono mai. Questa poi è davvero difficile da riprodurre: per provare ad avvicinarci all'idea, bisognerebbe spiegare che non solo la distanza temporale tra un truunf e il suo griiik è molto breve, ma anche che il truunf successivo è altrettanto rapido; certo, a meno che Doc non impatti in un nodo. I nodi rallentano sempre. Il punto è che il dottor Silverbrahms è impegnato nella complessa attività di segare del legno, ma non per ottenere rozzi e voluminosi ciocchi da destinare al caminetto; si tratta di un lavoro di precisione, tagli netti che devono frazionare un oggetto di legno assai duro e resistente. Per ottenere l'opportuna precisione, il nostro si è armato di un seghetto sottile, normalmente destinato al taglio di metalli, e segare un legno duro con un seghetto da ferro comporta la produzione di un rumore acuto, sonoro, e soprattutto molto fastidioso. Per completare il quadro generale, sarà sufficiente ricordare che l'operazione si sta svolgendo non in un acconcio laboratorio di falegnameria, ma in pieno soggiorno, con il rischio di scheggiare il tavolo di cristallo e la certezza di disseminare la segatura sul tappeto; e si aggiunga, particolare non trascurabile, che tutti gli orologi di casa concordano sul fatto che sono le tre e dieci di notte.

«Non ci credo. Rudy, quali sostanze psicotrope hai aggiunto al caffè?»

Alice, chiusa in una vestaglia a motivi floreali, occhi cisposi ma comunque attenti e acconciatura incredibilmente in ordine nonostante l'ora e la situazione, ha rivolto la domanda a Rudy, ma non distoglie lo sguardo dal novello falegname.

«Nessuna sostanza psicotropa, se escludi la caffeina. Anzi, nemmeno quella: ho fatto il decaffeinato, dopo cena...»

La vestaglia da camera di Rudy è scura, con qualche sobrio dettaglio che richiama l'arte giapponese. Occhi un po' meno cisposi, capelli un po' più spettinati, pipa spenta in bocca.

«E come spieghi allora questa apocalisse notturna?», chiede sbadigliando Alice, mentre Piotr, apparentemente ignaro dei due sulla soglia, continua alacremente a far gemere legno e metallo.

«Mah... forse Doc ha deciso che alla nostra attrezzatura di matematica sperimentale manca un buon numero di cubetti di legno, e ha deciso di produrli.»

Alice alza il sopracciglio sinistro, quello notoriamente più scettico dei due, e lo rivolge indagatrice verso Rudy: «Sul fatto che manchino, non ci sono dubbi. Sull'ipotesi che ci servano, nutro pesantissimi dubbi. Sull'idea che sia necessario mettersi a fabbricarli in soggiorno in ore antelucane, ho un intero portafoglio di coloratissime imprecazioni.»

«Beh, esistono una serie di bei rompicapo basati su cubetti di legno più o meno assemblati», conciona Rudy, stando ben attento ad evitare di incrociare quel sopracciglio, «e qualcuno è appassionante. Mi viene in mente una ricostruzione di un cubo diviso in cubetti assemblati in sei o sette pezzi, e ti assicuro che è tutt'altro che semplice...»

«GC, se meni il can per l'aia, giuro che ti aizzo contro la furia nera felina», minaccia Alice; «Doc si sta comportando come il proverbiale scemo del villaggio, che è cosa già grave, ma tu ti stai esibendo in una pessima imitazione di Pinocchio. Sputa il rospo, spiegami che cosa sta succedendo.»

Illustrazione di Stefano Fabbri

«Quale rospo?», biascica Rudy. «Non c'è nessun rospo. Certo, oggi ho raccontato a Piotr un problemino che comporterebbe l'uso di una sega, se uno volesse davvero affrontare il problemino con gli attrezzi invece che con le meningi. Ma, diamine! Non potevo certo immaginare che lui si gettasse così a corpo morto sulla via sperimentale...»

Entrambi gli occhi di Alice lanciano dardi fiammeggianti verso la barba di Rudy: «Tu sei falso come un biglietto da 30 euro. Hai ancora una tenue probabilità di sopravvivere: spiegami il problema che hai posto a Doc, e poi vedremo se potrai restare in vita.»

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di marzo e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

Rudy rispolvera un problema illustrato da Martin Gardner su questa rivista e ne studia la soluzione lavorando del legno

IL PROBLEMA DI GENNAIO

Il mese scorso si parlava di vassoi rotanti e bicchierini di sakè, ma in fondo il problema corrispondeva a un'insana partita di roulette russa, con un revolver a sei colpi che contenga due pallottole adiacenti e quattro camere vuote del tamburo. Ci si chiedeva se, una volta premuto il grilletto e avendo constatato che non era esplosa alcuna cartuccia, fosse conveniente o meno, prima di premere nuovamente il grilletto, far nuovamente ruotare il tamburo.
Se si prendono in considerazione tutte le possibili disposizioni, prima del primo colpo le disposizioni possibili sono: ("P"= pallottola, "0" = camera vuota): PP0000 - 0PP000 - 00PP00 - 000PP0 - 0000PP - P0000P. Le disposizioni iniziali confermano la probabilità teorica di 1/3 di farsi saltare le cervella al primo colpo: nella prima e nell'ultima disposizione (2 su 6) c'è una "P" in prima posizione. Peraltro, essere sopravvissuti al primo colpo implica che la configurazione di partenza era necessariamente una tra queste quattro: 0PP000 - 00PP00 - 000PP0 - 0000PP.
Se non si ruota il tamburo, solo la 0PP000 è letale (con una "P" in seconda posizione), il che da una probabilità di tragica perdita della partita pari a 1/4. Se invece si ruota, si ritorna alla situazione di inizio gioco, con probabilità di perdere pari a 1/3. Quindi, in questo caso conviene non ruotare il tamburo.
Nel caso di un terzo colpo da sparare, si vede che è indifferente ruotare o meno (la probabilità è pari a 1/3 in entrambi i casi), ma un eventuale quarto colpo (al quale, non ruotando mai, si ha probabilità di sopravvivere pari a 1/6), ruotare al terzo turno consente di riportarsi alla condizione iniziale, e riconducendo un terribile «quarto colpo» alla stregua probabilistica di un «secondo colpo», più abbordabile.

«Oh, era solo un problema di sezionamento: dato un cubo di legno di lato tre, si devono ottenere con il minor numero possibile di tagli unici e rettilinei 27 cubetti unitari. È evidente che, senza risistemare i pezzi dopo ogni taglio, con due tagli per ognuna delle tre dimensioni (totale, sei) si riescono a ottenere i cubetti richiesti. Ma avendo licenza di risistemare i pezzi, per ottimizzare il lavoro, quanti tagli saranno sufficienti?»

«Lo sapevo!», urla Alice: «Sei perfido, GC! Conosco quel problema, come conosco te e conosco Doc! Tu sapevi benissimo che Piotr, attratto dalla semplicità dell'esposizione e dalla possibilità di esplorarlo sperimentalmente, non avrebbe preso sonno finché non avesse risolto il problema! Lo hai fatto apposta! Volevi tirargli un tiro mancino! Ecco il risultato! Piotr che passa la notte in bianco e noi con lui, come una trinità di deficienti!»

Rudy si gratta una tempia con il cannello della pipa, con un'espressione vagamente contrita: «Beh... era uno scherzo innocente... dopo tutto, è Carnevale, e non potevo certo prevedere che questo stolido essere...»

Lo stolido essere smette di torturare il legno, e l'improvviso silenzio piomba fragoroso nella stanza. Si pulisce le mani sullo zinale di pelle, sorride, e recita: «*Mathematical puzzles and diversions*, capitolo tre.»

Alice e Rudy si voltano di scatto. Prima che possano articolare suoni, Doc continua: «...che poi, naturalmente, è stato anche tradotto in italiano. E visto che l'autore, Martin Gardner, era il faro portante di "Scientific American" per la matematica ricreativa e veniva tradotto anche nell'edizione italiana, non c'è alcun dubbio che il problema in questione ha già visto le pagine di questa nobile rivista che, del tutto inspiegabilmente, ancora ospita le nostre farneticazioni.»

Rudy e Alice ci mettono qualche secondo a riprendersi dallo stupore, visto che consideravano Piotr perso in sperimentazioni obnubilanti. Ed è Rudy che parla per primo, infine: «Ehi, ma se conosci il problema al punto di citarlo, dovresti anche conoscere la soluzione...»

«Certo che la conosco», conferma Piotr.

«Ma allora, santo cielo - ruggisce Alice - si può sapere a che serve fare tutto questo fracasso e disastro in piena notte?»

«Beh - ridacchia Doc - sai, dopotutto, è Carnevale...»

«Io vi ammazzo tutti e due!»

Doc e Rudy instaurano una veloce e temporanea alleanza dietro il divano, riparandosi dalle numerose suppellettili che Alice lancia loro contro. Mentre un piatto di Sevrés si frantuma contro il muro, sottovoce Piotr mormora a Rudy:

«Comunque, credo di aver trovato una generalizzazione interessante, GC. Ho considerato un bel numero di parallelepipedi di varie grandezze, però di dimensioni sempre intere. Direi proprio di aver trovato un buon metodo con cui ottenere i cubetti unitari, avendo licenza di risistemare i pezzi dopo i tagli. Che dici, vuoi sentirla?».

Una trama per l'universo

La ragnatela cosmica

di J. Richard Gott

Bollati Boringhieri, Torino, 2016, pp. 295 (euro 24,00)

La geometria strutturale dell'universo visibile somiglia più a una zuppa di polpette o a un pezzo di groviera? Un dilemma che a prima vista potrebbe suonare come una battuta tratta da *Balle spaziali*, ma che invece descrive per metafore lo stato del dibattito sull'architettura a larga scala dell'universo negli anni in cui l'autore di questo libro, docente di astrofisica alla Princeton University, avanzò la sua ipotesi. Un'ipotesi che ha le sue radici nel Richard Gott studente liceale di talento che partecipava entusiasta alle *science fair* negli anni sessanta presentando nuovi oggetti geometrici di sua ideazione, con una struttura simile a quella delle spugne, gli pseudopoliedri, che andavano ad arricchire la classe dei poliedri regolari. Quell'intuizione riemerge vent'anni dopo quando il fisico Gott cerca di riconoscere una trama nel Tutto, tra parti a più alta e parti a più bassa densità di materia, tra ammassi e superammassi di galassie, e poi filamenti di galassie che si allungano per milioni di anni luce, fino a costituire un universo spongiforme.

Questo libro abbraccia decenni di ricerche in cosmologia e di ricerca sulla forma dell'universo, la «ragnatela cosmica» che dà il titolo al libro e oggi descrive come appare il cosmo a larga scala. Un racconto in prima persona che restituisce l'esaltazione dei fisici di fronte alla crescente potenza di calcolo che permette simulazioni dell'universo e della sua evoluzione sempre più accurate, che ci permettono di sbirciare in profondità nell'architettura dell'universo. Gott condivide con il lettore i passaggi cruciali del suo lungo percorso scientifico, senza disdegnare l'uso di formule (e ormai non è il solo a sfidare il credo per cui ogni formula in un libro di divulgazione dimezzi il numero dei lettori), con qualche passaggio forse un po' ostico per il lettore comune.

Ma va riconosciuta a Gott una notevole capacità di far intuire al lettore la sostanza delle cose, che si parli di topologia o di fluttuazioni quantistiche come «semi» per la nascita delle galassie. Anche grazie a colorite sequenze aneddotiche che Gott sfodera a ripetizione, e che spesso vedono protagonisti grandi scienziati, come nel caso di Richard Feynman che prende a male parole il collega Jim Pebbles perché gli sta oscurando la visione della simulazione dell'espansione dell'universo anche se si trova lì per commentarla. Oppure quando finalmente Gott riesce a incontrare a Tallin Jakov Zel'dovic, decano dell'astrofisica sovietica, che subito gli chiede: «Gott, tre, la conosco. Che cosa indica il tre?» (il nome completo dell'autore è John Richard Gott III). O ancora le celebri cene alla tavola alta del Trinity College di Cambridge con l'astronomo reale Martin Rees.

Si incontrano in questo ricco resoconto molte figure cruciali che hanno cambiato per sempre la nostra immagine del Tutto, da Edwin Hubble che ci spalancò gli occhi sulla reale estensione dell'universo, a Fritz Zwicky che per primo ipotizzò l'esistenza della materia oscura (poi confermata da Vera Rubin, l'astronoma recentemente scomparsa), che oggi rappresenta uno dei più grandi punti interrogativi in cosmologia, insieme all'energia oscura a cui è dedicata l'ultima parte del libro sul destino dell'universo.

La sensazione di spaesamento, che tutti naturalmente proviamo quando ci allontaniamo con la mente dagli ordini di grandezza consueti per la nostra vita sulla Terra, diventa inarrestabile di fronte a oggetti come la grande muraglia di Sloan, una struttura composta da un enorme numero di galassie lunga 1,3 miliardi di anni luce. E diminuisce solo un poco il senso di vertigine l'uso delle similitudini che Gott fa per spiegare per esempio come le linee di flusso delle velocità delle galassie creino un bacino simile a quello di un fiume diretto verso un Grande Attrattore, un luogo a 200 milioni di anni luce di distanza da noi nella costellazione del Centauro, identificato da un gruppo di astronomi divenuti celebri nella comunità scientifica come i sette samurai. Magari può essere d'aiuto provare a segnarci il nostro indirizzo nel cosmo, allo stato attuale delle conoscenze, nel caso un giorno dovesse servire: Terra, sistema solare, Via Lattea, Gruppo locale, superammasso della Vergine, superammasso di Laniakea.

Marco Motta

In cerca di vita extraterrestre, tra miti antichi e scienza

Un mondo di mondi
di Giulio Giorello ed Elio Sindoni
Raffaello Cortina Editore, Milano, 2016, pp. 142 (euro 16,00)

Ce lo chiediamo da sempre e ancora non siamo in grado di rispondere. Ci sarà «qualcuno» che, da lassù, ci sta guardando? Oppure siamo davvero gli unici esseri intelligenti nell'universo? Ripercorrendo le tappe della ricerca di vita extraterrestre, Giulio Giorello ed Elio Sindoni, filosofo della scienza il primo e fisico il secondo, evidenziano come la questione abbia alimentato la fantasia di tutti i tempi: dalle antiche religioni alle cosmologie dell'età moderna, e poi racconti, romanzi, film, fumetti. «Una vicenda intellettuale – scrivono due autori – che si snoda da millenni». In modo coinvolgente e accattivante, ce ne illustrano le tappe essenziali, dal mito antico alla scienza contemporanea: le ipotesi riguardo all'esistenza di altri mondi abitati, che «hanno animato la discussione tra le più svariate scuole filosofiche», e l'evoluzione successiva di tecniche e strumenti messi a punto per scovare altre forme di vita, dal progetto SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) alla caccia di esopianeti.
«Se un giorno un bip bip segnalasse un richiamo proveniente dallo spazio, la nostra vita sulla Terra giungerebbe a una svolta clamorosa – sottolineano Giorello e Sindoni – con impensabili conseguenze non solo per la scienza e la tecnologia, ma anche per la filosofia, e perfino per la tecnologia». E in effetti, senza imbarcarsi in avventure di carattere fantascientifico, i due autori evidenziano più volte come la nostra curiosità verso la possibilità di vita su altre «Terre» nell'universo sia stato, e continua a essere, un potente fattore di sviluppo tecnologico.

Simona Regina

Ritratto e opere di un padre della medicina

Galeno di Pergamo
di Véronique Boudon-Millot
Carocci, Roma, 2016, pp. 368 (euro 29,00)

I ritmi di innovazione medica sono incessanti: è diventato impossibile fare previsioni da qui a due anni e nessuno scommetterebbe che una certa terapia sia ancora valida nel prossimo decennio. Le teorie e le pratiche di Galeno, vissuto nel II secolo d.C., pur in parte modificate, hanno orientato la medicina per un millennio e mezzo. Accendere i riflettori sul grande medico di Pergamo significa quindi illuminare uno dei grandi protagonisti della storia dell'arte medica.
Il testo di Boudon-Millot, direttrice di ricerca al CNRS dell'Université de la Sorbonne-Paris IV, affronta Galeno dal punto di vista biografico, raccogliendo tutte le notizie biografiche disponibili nelle fonti antiche e medievali, e discutendo in maniera approfondita la letteratura disponibile. Si tratta di un lavoro necessario, per eliminare molto loglio autobiografico e agiografico: di Galeno parla moltissimo Galeno stesso, nelle oltre 20.000 pagine delle sue opere, e quindi gran parte delle notizia hanno questa origine. Tuttavia, tante altre fonti minori raccontano Galeno o permettono di confrontarne le affermazioni, non risultando sempre in accordo. Il medico greco d'altra parte fece un gran lavoro retorico per dimostrare al mondo come lui fosse il principe dell'arte, l'unico in grado di tenere insieme uno scibile vastissimo, incrementato grazie a viaggi ed esperienze che cercò attivamente per tutta la vita.
Senza indugiare troppo sui dettagli delle teorie mediche di Galeno, l'autrice ci restituisce dunque un ritratto biografico e professionale: che cosa vuol dire essere un medico nell'impero romano? In questa prospettiva, la narrazione della vita di Galeno ci insegna nel dettaglio il processo di costruzione del personaggio del medico in chiave pubblica, verso la società nel suo insieme e verso i propri colleghi (e concorrenti): un tratto interessante anche nel mondo di oggi.

Mauro Capocci

Un viaggio immaginario su Marte

Di spedire esseri umani su Marte per ora non se parla, l'esplorazione del Pianeta rosso è stata delegata a numerose sonde automatiche in orbita e a una manciata di rover sulla superficie marziana. E chissà per quanto tempo ancora le cose resteranno così. Se tuttavia siete così curiosi da non resistere, la mostra *Marte – incontri ravvicinati con il Pianeta Rosso* presso l'Aula Ottagona del Museo nazionale romano alle Terme di Diocleziano, a Roma, a

pochi passi dalla stazione Termini, fa al caso vostro.
Aperta fino al 28 febbraio, ingresso libero, organizzata da Agenzia spaziale italiana e Ministero dei beni culturali e artistici, in collaborazione con Agenzia spaziale europea e Istituto nazionale di astrofisica, la mostra viaggia certo nello spazio, ma anche nel tempo. Rende laicamente omaggio alla figura del dio romano Ares (Marte, appunto, il dio della guerra), passa per le osservazioni pionieristiche dell'italiano Giovanni Schiaparelli alla fine dell'Ottocento, per giungere alle conoscenze ottenute con le missioni a cavallo tra questo e il secolo precedente. C'è anche uno sguardo alle missioni future verso il Pianeta Rosso, in cui l'Italia sarà protagonista, come del resto lo è già in quelle attuali. (*cb*)

La scintilla della creazione
di David Wootton
Il Saggiatore, Milano, 2016,
pp. 872 (euro 42,00)

Una ricostruzione della rivoluzione scientifica

Che cos'è la rivoluzione scientifica? Semplificando un tomo di oltre 800 pagine, il tentativo di rispondere alla domanda è il principale scopo dello storico David Wootton: guardare a quello straordinario periodo della storia europea, tra l'avvistamento della nova in cielo da parte di Tycho Brahe (1572) e la pubblicazione dell'*Ottica* di Isaac Newton (1704), in cui si è prodotta una discontinuità profonda nella storia umana. Fino ad allora dominava la convinzione che gli antichi avessero detto tutto quello che valeva la pena dire. Dopo, lo sguardo dei filosofi naturali si è rivolto al futuro, sulla base del fatto che molto rimaneva da scoprire.

Ma non si è trattato di una rivoluzione nel senso di quella francese: un evento epocale di cui gli stessi fautori erano consapevoli. Quella scientifica è stata una rivoluzione silenziosa, che si è sviluppata non solo sulla base di innovazioni tecniche (per esempio il telescopio), ma anche a partire da parole nuove che si sono diffuse come indicatori di un cambiamento del pensiero. Un esempio è «scoperta», parola che non c'è in nessuna lingua europea fino all'epoca dei grandi viaggi di esplorazione portoghesi. Uno dei racconti più affascinanti del libro riguarda il ruolo delle spedizioni di Colombo nel gettare le basi del cambiamento. Lo stesso vale per l'analisi della nascita di concetti che oggi diamo per scontati e che invece sono novità del periodo esaminato: fatto, esperimento, legge di natura, teoria.

Accanto alle accurate ricostruzioni storiche, con un'enfasi che forse annoierà il lettore non specialista, c'è anche una argomentazione polemica che l'autore dipana contro i colleghi storici della scienza. Wootton se la prende sia con i relativisti, coloro che rubricano la scienza come costruzione sociale, sostenendo che i fatti sono incontrovertibili, disponibili alla verifica di chiunque. E su questi fatti, argomenta sempre l'autore, abbiamo costruito il progresso che dalla rivoluzione scientifica si è sviluppato fino a oggi. Bacchetta, però, anche i realisti, coloro che pensano che la scienza conduca alla verità. Lo scopo della scienza, sottolinea più volte Wootton, non è questo, ma costruire un corpus di conoscenze affidabili. Se voglio andare in barca, racconta, userò un sistema tolemaico per orientarmi; per mandare un razzo sulla Luna si usa ancora Newton e non la relatività einsteiniana. Perché? Semplicemente perché funziona. È su questa semplice osservazione che oggi possiamo chiamare quell'insieme di fatti, eventi, libri ed esperimenti con il nome di rivoluzione scientifica.

Marco Boscolo

La prova regina
di Gianfranco Bangone
Codice, Torino, 2016,
pp. 192 (euro 15,00)

La storia del DNA nei tribunali italiani

Quando si interroga un genetista forense sul delitto del momento e su come le tracce di DNA sulla scena del crimine stiano aiutando o no a risolverlo, prima o poi l'avvertimento arriva: «Non pensate che sia come in CSI, dove trovi un capello e subito individui il colpevole».

È vero che già negli anni cinquanta si diceva che l'assassino «ovunque sia stato e qualsiasi cosa abbia toccato o lasciato, anche non intenzionalmente, è come se ci avesse fornito un testimone silenzioso contro di sé». Ed è vero che le analisi del DNA hanno moltiplicato la nostra capacità di interrogare questi testimoni silenziosi. Ma anche l'interrogatorio del DNA non è mai banale. Ed è solo una delle fonti di informazione, da ricomporre e conciliare con tutte le altre per ricostruire l'accaduto. Solo a volte è l'informazione decisiva che inchioda o scagiona un sospettato: la prova regina, appunto.

Quanto complessa e delicata possa essere l'interrogazione del DNA lo si capisce bene leggendo questa carrellata di racconti di alcuni dei più famosi casi italiani in cui il DNA ha giocato un ruolo primario (con qualche puntata all'estero quando necessario). È una serie di racconti dal tono colloquiale e cronachistico, intercalati all'occorrenza dagli approfondimenti scientifici per spiegare i dibattiti sulla validità del DNA in sede giudiziaria, le regole per un suo uso corretto tra necessità investigative e salvaguardia della privacy, e l'evoluzione di queste norme via via che i progressi tecnologici aumentavano potenza informativa, precisione e affidabilità delle analisi genetiche.

Le difficoltà emergono fin dall'esordio del DNA forense nelle corti italiane, il caso dell'omicidio della piccola Cristina Capoccitti nel 1990, quando analisi e contro analisi, perizie e smentite si rincorsero per otto interminabili processi senza riuscire a sciogliere appieno i dubbi. Come del resto nell'omicidio di Meredith Kercher a Perugia, nella cui seguitissima saga giudiziaria il DNA è certo protagonista. Tuttavia non basta a chiarire cosa sia successo, forse anche per le manchevolezze investigative. Al contrario del caso di Yara Gambirasio, in cui, in assenza di indizi decisivi, il DNA è davvero la prova regina che identifica il presunto assassino.

Cautele doverose, limiti tecnici, e battaglie giudiziarie in cui si è spesso contestata l'affidabilità o l'interpretazione dei risultati di ciascun caso, non devono però far perdere di vista il dato centrale: la tecnica è solida, e usata a dovere ha contribuito a risolvere centinaia di casi. Assicurando alla giustizia molti criminali, ma anche allontanando dalla galera tanti innocenti.

Giovanni Sabato

Gli amori del chimico scrittore

Il Museo della scienza e della tecnologia di Milano ospita una mostra dedicata alla figura complessa di Primo Levi, tra i principali autori letterari del Novecento

Nel 2015 l'editore statunitense Liveright ha pubblicato un cofanetto con *The Complete Works* di Primo Levi. È la prima volta che l'opera completa di uno scrittore italiano è tradotta integralmente in inglese: non è successo per Dante o Machiavelli, né per Calvino o il Nobel Montale. Questo piccolo evento è solo l'ennesimo riconoscimento del ruolo di Levi tra gli autori del Novecento. In Italia, solo vent'anni fa non era chiaro se si trattasse di uno scrittore a tutto tondo, e si tendeva a relegarlo nella memorialistica del lager e poco più. La seconda edizione completa delle sue opere, pubblicata a novembre 2016 da Einaudi, è l'occasione per questa mostra che cerca di restituire al visitatore rotondità e profondità di Levi.

Perché Levi, oltre che straordinario scrittore dell'esperienza dell'internamento e dello spaesamento del rientro a casa, è stato per tutta la vita anche un chimico, profondamente innamorato del proprio lavoro. Fino alla pensione ha lavorato alla Società industriale vernici e affini (SIVA) di Torino e di questa esperienza c'è traccia in uno dei suoi libri più belli, *Il sistema periodico*, la sua personale interpretazione della tavola degli elementi, una serie di racconti in cui scrittore e chimico combaciano. In un racconto, *Carbonio*, Levi descrive il viaggio avventuroso di un atomo di carbonio nel corso dei millenni e nell'immenso spazio planetario e nella mostra è presentato con una ricca sequenza di tavole disegnate dall'artista giapponese Yosuke Taki.

Un altro amore di Levi ricordato nella mostra è quello per la cultura manuale: il rapporto, fondamentale per un chimico applicato come lui, tra mano e cervello, e che nella vita ha coltivato anche fuori dal laboratorio costruendo sculture in filo di rame. Cultura manuale e del lavoro che si ritrovano protagonisti anche del romanzo *La chiave a stella*, che racconta le avventure dell'operaio specializzato Libertino Faussone chiamato ai quattro angoli del globo a svolgere i lavori più diversi. È una riflessione sul ruolo del lavoro nella vita dell'uomo che i curatori hanno voluto occupasse un'intera sezione della mostra. Se non si conosce Levi, la mostra di Milano è l'occasione per avvicinarlo; se già lo si conosce, l'occasione per conoscerne qualche lato più nascosto.

Marco Boscolo

Cultura scientifica e manuale. Allestimenti della mostra su Levi organizzata a Milano, che cerca di restituire rotondità e profondità del chimico e scrittore italiano.

Cortesia Paolo Soave/Museo della scienza e della tecnologia «Leonardo da Vinci» (*tutte le foto, 3*)

Dove & quando:

I mondi di Primo Levi. Una strenua chiarezza
fino al 19 febbraio 2017, Museo nazionale della scienza e della tecnologia, Via San Vittore 21, Milano, www.museoscienza.org.

Aggrovigliati nello spazio-tempo

di Clara Moskowitz

Lo spazio-tempo potrebbe essere formato da minuscoli componenti fatti di informazione, tenuti insieme dal bizzarro fenomeno dell'entanglement quantistico? Un nuovo programma di ricerca sta esaminando l'ipotesi, nella speranza di trovare una teoria quantistica della gravità in grado di fondere meccanica quantistica e relatività generale.

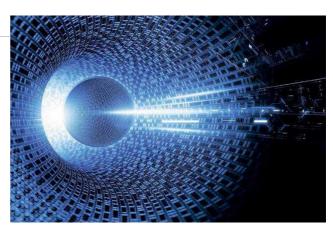
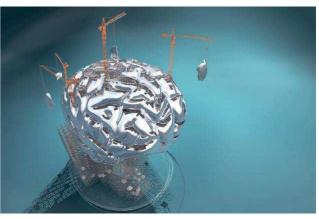
In difesa del robot disobbediente

di Gordon Briggs e Matthias Scheutz

I rischi più immediati e problematici della diffusione di macchine «intelligenti» non vengono da qualche super-intelligenza artificiale, ma dalla fallibilità umana. Alcuni esperti di robotica hanno deciso di affrontare il problema cominciando a insegnare agli automi quando e come dire «no» agli esseri umani.

Cervelli creati in laboratorio

di Juergen A. Knoblich

La realizzazione di «organoidi» – cervelli, o parte di essi, sviluppati in laboratorio a partire da cellule staminali – è una procedura ormai alla portata degli scienziati, a cui permetterà di ottenere informazioni preziose su malattie umane, neurodegenerative e non solo, impossibili da ricavare con gli studi sui modelli animali.

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 90, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Daria Orsi (tel. 02 57494475, 345 4415852)
e-mail dorsi@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Stampa
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.
Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - gennaio 2017

ISSN 2499-0590

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guterl; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong, David Biello, Larry Greenemeier, Ferris Jabr, John Matson

President Steven Inchcoombe;
Executive vice president: Michael Florek;
Vice president and associate publisher: Michael Voss;
Design Director, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Mauro Capocci: *Il tallone d'Achille dell'HIV;* Daniele Gewurz: *L'autoscontro del sistema solare;* Valeria Gili: *La fabbrica dei superbatteri*; Alfredo Tutino: *Previsioni sul permafrost, L'evoluzione dei miti, Battaglie nel profondo.*

Notizie, manoscritti, fotografie, e altri materiali redazionali inviati spontaneamente al giornale non verranno restituiti.

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Abbonamenti: abbonamentiscienze@somedia.it
Arretrati e prodotti opzionali: lescienzevendite@somedia.it
Tel. 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Fax 02 26681991.
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 83432422; fax 02 70648237;
mail grandiclienti@somedia.it

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00
Estero	
abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 8099 del 6/4/2016

Kenn Brown/Mondolithic Studio (*spazio-tempo*); Bryan Christie (*cervello*)